



Hugo da Costa Pedro

Licenciado em Ciências de Engenharia Mecânica

**Desenvolvimento integrado de um equipamento
de proteção individual ocular para uso hospitalar
para injeção termoplástica**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia
Mecânica

Orientadora: Doutora Carla Maria Moreira Machado,
Professora Auxiliar, FCT/UNL

Co-orientador: Mestre João Catarino Ferreira Teodósio,
Departamento de Produção, Moldes
Catarino Lda.

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Catarina Isabel Silva Vidal

Arguente: Prof. Doutor Bruno Alexandre Rodrigues Simões Soares

Vogal: Prof. Doutora Carla Maria Moreira Machado



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro 2020

**Desenvolvimento integrado de equipamento de proteção individual ocular para uso
hospitalar para injeção termoplástica**

Copyright © 2020 Hugo da Costa Pedro

Faculdade de Ciências e Tecnologia e Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Em memória da Bai e do avô Costa

Agradecimentos

Agradeço à minha orientadora, Professora Doutora Carla Maria Moreira Machado, pelo apoio demonstrado ao longo desta dissertação, além de toda a ajuda e de todos os conhecimentos transmitidos.

Gostaria de agradecer, também, ao Engenheiro João Teodósio pela ajuda e pela oportunidade dada para a realização desta dissertação. Foi gratificante ver e pôr em prática alguns dos conhecimentos teóricos aprendidos durante o curso.

Os meus agradecimentos estendem-se, ainda:

À Moldes Catarino Lda. e a todos os trabalhadores que, de forma direta ou indireta, estiveram envolvidos nesta dissertação, pela disponibilidade imediata prestada. Um agradecimento especial ao Rafael, ao Nuno e ao Emanuel por todo o conhecimento transmitido enquanto estive na empresa.

Aos profissionais de saúde por ajudarem na definição dos requisitos funcionais do EPI.

A todo o corpo docente e técnico da Faculdade de Ciências e Tecnologia pelo apoio prestado e pelo conhecimento transmitido ao longo de todo o curso.

Aos meus amigos da faculdade, por todos os momentos, de estudo e de diversão, atravessados durante os cinco anos.

Aos meus restantes amigos, pelos momentos de descontração e pela motivação dada.

Aos meus pais e avós, por serem os principais intervenientes no meu desenvolvimento pessoal e profissional e por terem-me dado a oportunidade de frequentar um curso universitário.

Finalmente, à minha namorada, Luísa, pelo constante apoio e pelos importantes conselhos dados no decurso desta dissertação.

Gostaria ainda de referir a importância deste tipo de dissertação na integração da atividade profissional. Durante a elaboração da dissertação foi possível colaborar com diferentes profissionais de diferentes áreas relevantes para o desenvolvimento de um EPI. Foi desafiante e enriquecedora a aquisição de um vasto conhecimento da indústria dos moldes e de injeção termoplástica, de projeto de produto e de EPI's num curto intervalo de tempo.

A pandemia provocada pelo SARS-CoV-2 obrigou a grandes mudanças em muitas indústrias. A indústria dos moldes de injeção plástica, em Portugal, não foi exceção. Apesar do reconhecimento europeu e internacional da qualidade dos moldes nacionais, o número de consultas para o pedido de orçamentos diminuiu significativamente. Face a esta diminuição, grande parte das empresas procurou desenvolver e fabricar os seus próprios modelos de Equipamentos de Proteção Individual (EPI's). Uma vez que o projeto de produtos não é a principal atividade económica destas empresas, surgiu a necessidade de adaptação às mudanças do mercado.

Esta dissertação surge inserida no projeto de um kit de EPI's para utilização em ambiente hospitalar, composto por máscara, viseira e óculos. Nesta dissertação proposta uma metodologia de desenvolvimento rápido de produtos e processos, sendo realizado um estudo de caso relativo ao desenvolvimento dos óculos de proteção e de um dos respetivos moldes. No desenvolvimento integrado de produto e processo foram utilizadas metodologias de projeto para manufatura e projeto para certificação e tecnologias assistidas por computador para melhorar e acelerar as tomadas de decisão. Analisaram-se as principais vantagens e limitações da metodologia proposta, assim como as características resultantes da sua aplicação no produto e no respetivo molde.

A metodologia desenvolvida e aplicada nesta dissertação permitiu o projeto de um EPI e do seu respetivo molde de uma forma rápida e eficaz. Os resultados obtidos foram muito satisfatórios, permitindo que o produto e respetivo processo fossem desenvolvidos num intervalo de tempo de cerca de metade da duração habitual do desenvolvimento de um molde de injeção.

Palavras-chave: molde para injeção de termoplásticos, equipamento de proteção individual, desenvolvimento integrado de produto e processo

Abstract

The pandemic caused by the SARS-CoV-2 has forced major changes in many industries. The plastic injection moulding industry in Portugal was no exception. Despite European and international recognition of the quality of national moulds, the number of consultations for requesting quotes has decreased significantly. In view of this decrease, most companies sought to develop and manufacture their own models of Personal Protective Equipment (PPE's). Since product design is not the main economic activity of these companies, there was a need to adapt to changes in the market.

This dissertation is part of the design of a PPE kit for use in a hospital environment, consisting of a mask, visor, and glasses. In this dissertation, a methodology for the rapid development of products and processes is proposed, together with a case study concerning the development of goggles and one of the respective moulds. In the integrated product and process development, methodologies such as design for manufacturing and design for certification and computer-aided technologies were used to improve and accelerate decision making. The main advantages and limitations of the proposed methodology were analysed, as well as the characteristics resulting from its application in the product and in the respective mould.

The developed and applied methodology in this dissertation allowed the design of a PPE and its respective mould in a quick and effective way. The results obtained were very satisfactory, allowing the product and the respective process to be developed in a time interval of about half the usual duration of the development of an injection mould.

Keywords: thermoplastic injection mould, personal protective equipment, integrated product and process development

Índice de matérias

1	Enquadramento, Motivação e Objetivos	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Motivação e objetivos.....	2
1.3	Estrutura da Dissertação.....	3
2	Pesquisa bibliográfica	5
2.1	Estado da arte.....	5
2.2	Conceitos Fundamentais.....	7
2.2.1	Polímeros.....	8
2.2.2	Moldagem de injeção de termoplásticos	10
2.2.3	Processo produtivo do molde.....	16
2.2.4	Projeto de moldes.....	17
2.2.5	Tecnologias assistidas por computador (CAx)	23
2.2.6	Aços para moldes.....	25
2.2.7	Testes	25
3	Metodologias	31
3.1	Desenvolvimento Integrado de Produto e de Processo	31
3.2	Equipa de Produto Integrada	33
3.3	Ferramentas do DIPP	34
3.4	Projeto para X.....	35
3.5	Modelação e simulação.....	37
3.6	Prototipagem.....	38
4	Caso de estudo	41
4.1	DIPP e <i>IPTs'</i>	41
4.2	Projeto do equipamento de proteção individual ocular	42
4.3	Projeto do molde	54

4.3.1	Especificações.....	55
4.3.2	Modelação.....	56
4.3.3	Simulação.....	57
4.3.4	Fabricação e montagem	57
4.3.5	Testes	58
4.4	Metodologia	58
5	Apresentação e análise de resultados	59
5.1	Equipamento de proteção individual ocular.....	59
5.2	Simulação.....	62
5.2.1	Enchimento e compactação.....	63
5.2.2	Arrefecimento	68
5.2.3	Empeno.....	69
6	Conclusões e trabalhos futuros.....	71
6.1	Conclusões e contributo	71
6.2	Propostas para trabalhos futuros	72

Índice de figuras

Figura 2.1 Classificação comum de polímeros. <i>Adaptado de [3]</i>	8
Figura 2.2 Classificação de termoplásticos comerciais e exemplos. <i>Adaptado de [20]</i>	9
Figura 2.3 Ciclo de moldação. <i>Adaptado de [20]</i>	11
Figura 2.4 Unidades funcionais de uma injetora. <i>Adaptado de [20]</i>	13
Figura 2.5 Compatibilidade dos materiais. <i>Adaptado de [22]</i>	14
Figura 2.6 Mold e <i>index plate</i> e principais componentes. <i>Adaptado de [23]</i>	15
Figura 2.7 Esquema das fases da moldação <i>index plate</i> . <i>Adaptado de [23]</i>	15
Figura 2.8 Fluxograma do processo produtivo de um molde. <i>Adaptado de [21]</i>	16
Figura 2.9 Fluxograma do processo produtivo de um molde, numa empresa onde há projeto da peça.....	17
Figura 2.10 Constituição do sistema de alimentação de canais frios. <i>Adaptado de [20]</i>	18
Figura 2.11 Injeção submarina (a - aresta de separação). <i>Adaptado de [20]</i>	19
Figura 2.12 Exemplos de ponteiras para bicos para ataque direto. <i>Adaptado de [20]</i>	19
Figura 2.13 Sistema de extração simples. <i>Adaptado de [20]</i>	21
Figura 2.14 Montagem de extratores em lâmina. <i>Adaptado de [20]</i>	21
Figura 2.15 Extração combinada. <i>Adaptado de [20]</i>	22
Figura 2.16 Diferentes tipos de guias: a) guia simples; b) guia de corpo espigado; c) guia respigada com cabeça de centragem. <i>Adaptado de [20]</i>	22
Figura 2.17 Diferentes tipos de casquilhos: a) casquilho simples; b) casquilho rasgado; c) casquilho com cabeça de centragem. <i>Adaptado de [20]</i>	22
Figura 2.18 Exemplos de blocos de travamento: a) retangular tipo A; b) retangular tipo B. <i>Adaptado de [20]</i>	23
Figura 2.19 Operações principais no processo CAD/CAM. <i>Adaptado de [21]</i>	24
Figura 2.20 Variação da pressão em função da velocidade de injeção. <i>Adaptado de [20]</i>	26
Figura 2.21 Evolução da temperatura média do molde ao longo do ciclo. <i>Adaptado de [20]</i>	27
Figura 2.22 Evolução da pressão na cavidade. <i>Adaptado de [20]</i>	28
Figura 3.1 Fluxograma de desenvolvimento concorrente de processo e produto no projeto, produção e teste de um molde. <i>Adaptado de [20]</i>	31
Figura 3.2 Abordagem DIPP (<i>IPDD approach</i>) versus abordagem em série (<i>serial approach</i>). <i>Adaptado de [25]</i>	33

Figura 3.3 Linhas de soldadura. <i>Adaptado de [19]</i>	36
Figura 3.4 Relação entre as normas da empresa, nacionais, europeias e internacionais. <i>Adaptado de [26]</i>	37
Figura 3.5 Fases comuns do projeto e manufatura de peças através de impressão 3D	39
Figura 4.1 Organograma das <i>IPT's</i>	41
Figura 4.2 <i>Goggles</i> (em cima) e <i>spectacles</i> (em baixo). <i>Adaptado de [33]</i>	47
Figura 4.3 Entradas laterais de ar (a azul)	48
Figura 4.4 Marcação do protetor ocular.....	49
Figura 4.5 Marcação CE.....	50
Figura 4.6 Modelo 3D final do EPI	52
Figura 4.7 1º protótipo do conjunto armação e lentes.....	53
Figura 4.8 2º protótipo do conjunto armação e lentes.....	53
Figura 4.9 Protótipo final do conjunto armação e lentes	53
Figura 4.10 Sequência de protótipos das fivelas	54
Figura 4.11 Modelo completo do molde	56
Figura 4.12 Resumo da metodologia utilizada.....	58
Figura 5.1 - Primeiro exemplo de ventilação indireta	59
Figura 5.2 - Segundo exemplo de ventilação indireta	60
Figura 5.3 Óculos de proteção individual PCS21	60
Figura 5.4 Resumo das tarefas de simulação (<i>software Moldex3D</i>).....	62
Figura 5.5 Linhas de soldadura do TPU (a vermelho)	63
Figura 5.6 1ª comparação do PC	64
Figura 5.7 2ª comparação do PC	64
Figura 5.8 1ª comparação do TPU.....	64
Figura 5.9 2ª comparação do TPU.....	64
Figura 5.10 Fugas de gases no PC, a azul.....	65
Figura 5.11 Prisões de gases no TPU, a azul	65
Figura 5.12 Rechupe no TPU	66
Figura 5.13 Força de fecho do PC ao longo do ciclo	66
Figura 5.14 Força de fecho do PC ao longo do ciclo	67
Figura 5.15 Massa do PC	67

Figura 5.16 Massa do TPU.....	68
Figura 5.17 Temperatura de arrefecimento.....	68
Figura 5.18 Tempo de arrefecimento até à extração.....	69
Figura 5.19 Empeno PC.....	69

Índice de tabelas

Tabela 2.1 Propriedades do PP, do PC e do TPU	10
Tabela 2.2 Requisitos dos vários tipos de análise CAE [21]	23
Tabela 2.3 Verificações e avaliações retiradas dos vários tipos de análise CAE [20].....	24
Tabela 2.4 Características exigidas ao aço para moldes [20].....	25
Tabela 3.1 Princípios fundamentais do DIPP [25]	32
Tabela 3.2 Listagem para a realização do projeto [26]	38
Tabela 4.1 Identificação dos requisitos e dos testes correspondentes.....	48
Tabela 4.2 Análise preliminar das peças e dos materiais	51
Tabela 4.3 Técnicas de esterilização e descontaminação utilizadas em ambiente hospitalar.....	51
Tabela 4.4 Materiais para a injeção	52
Tabela 4.5 Parâmetros da simulação.....	57
Tabela 5.1 Requisitos funcionais dos <i>Goggles PCS21</i>	61

Símbolos e abreviações

<i>AM</i>	<i>Additive Manufacturing</i>
ASAE	Autoridade Segurança Alimentar e Económica
<i>B2B</i>	<i>Business-To-Business</i>
<i>B2C</i>	<i>Business-To-Consumer</i>
<i>CAD</i>	<i>Computer Aided Design</i>
<i>CAE</i>	<i>Computer Aided Engineering</i>
<i>CAM</i>	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
<i>CAX</i>	<i>Computer Aided X</i>
<i>CE</i>	<i>Conformité Européene</i>
CNC	Controlo Numérico Computorizado
<i>COVID-19</i>	<i>Coronavirus disease 19</i>
DEMI	Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial
<i>DfAM</i>	<i>Design for Additive Manufacturing</i>
<i>DfMA</i>	<i>Design for Manufacturing and Assembly</i>
<i>DfX</i>	<i>Design for X</i>
DIP	Desenvolvimento Integrado de Produto
DIPP	Desenvolvimento Integrado de Produto e de Processo
DM	Dispositivo Médico
<i>EN</i>	<i>European Standards</i>
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FCT	Faculdade Ciências e Tecnologia
<i>FDM</i>	<i>Fused Deposition Modelling</i>
<i>FFD</i>	<i>Fused Feedstock Deposition</i>
<i>FFF</i>	<i>Fused Filament Fabrication</i>
IAPMEI	Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação
INFARMED	Autoridade Nacional do Medicamento e Produtos de Saúde
<i>IPT</i>	<i>Integrated Product Team</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>

<i>NANDO</i>	<i>New Approach Notified and Designated Organisations</i>
OMS	Organização Mundial de Saúde
PA	Poliamida
PC	Policarbonato
PME	Pequena e média empresa
PP	Polipropileno
<i>PPE</i>	<i>Personal Protective Equipment</i>
<i>QFD</i>	<i>Quality Function Deployment</i>
<i>R&D</i>	<i>Research and Development</i>
SARS-CoV-2	<i>Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2</i>
TPE	Elastómero Termoplástico
TPU	Termoplástico Elastomérico de Poliuretano
UE	União Europeia
UNL	Universidade Nova de Lisboa

1 Enquadramento, Motivação e Objetivos

1.1 Enquadramento

A indústria dos moldes de injeção plástica apresenta, em Portugal, uma importância histórica. Com origem na Marinha Grande, começando na indústria do vidro, tem ganhado cada vez maior projeção internacional. Atualmente, cerca de 90% dos moldes produzidos nacionalmente são exportados. É uma indústria *B2B* com grande competitividade internacional e em constante inovação. É necessário compreender os requisitos do cliente: o crescimento da indústria noutros países faz com que seja exigida melhor qualidade, preços mais acessíveis e menores prazos de entrega. O futuro desta indústria é assegurado através do seu desenvolvimento tecnológico, do correto planeamento da produção e controle de qualidade, da modernização constante dos equipamentos em utilização e do investimento na formação profissional. [1]

Dada a conjuntura atual de pandemia (causada pelo *SARS-CoV-2*), toda a indústria precisou de se adaptar à nova situação. Muitas empresas tiveram de recorrer a regimes especiais de *layoff*, outras recorreram a regimes de teletrabalho. No ramo automóvel e aeronáutico começaram a desenvolver-se ventiladores. Já na indústria dos moldes e na indústria têxtil muitas empresas começaram a desenvolver Equipamentos de Proteção Individual (EPI's). Apesar das empresas terem muita experiência no desenvolvimento de moldes e na injeção de plásticos, apenas algumas possuem a capacidade de realizar o desenvolvimento de produtos. O desenvolvimento de EPI's demonstra uma mudança de paradigma na indústria dos moldes em Portugal: passou a existir maior foco no desenvolvimento de produto.

Inúmeros foram e têm sido os projetos que visam munir os profissionais de saúde de aparelhos e produtos fundamentais no combate ao surto de *SARS-CoV-2*. O *Project Open Air* surgiu para “combater a falta de recursos hospitalares no combate à *COVID-19*, procurando desenvolver soluções rápidas e fáceis de implementar em qualquer parte”. A Moldes Catarino Lda. e a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa juntaram-se a este projeto no desenvolvimento de óculos, viseira e máscara de proteção.

Mesmo em situações normais, a tecnologia e a sociedade estão em constante evolução, existindo a necessidade de um desenvolvimento rápido e eficaz de produto e de processo. As metodologias de desenvolvimento integrado de produto e processo (DIPP) obrigam a integração de equipas multidisciplinares, com uma forte componente de comunicação entre si, com o objetivo de tornar mais rápida a conceção de um produto. A aplicação de metodologias DIPP pode levar a resultados interessantes no desenvolvimento de EPI's, no âmbito da pandemia que se está a atravessar. As ferramentas utilizadas nesta metodologia, nomeadamente de projeto para manufatura e para certificação, são fundamentais para o projeto de um EPI.

Para a elaboração da dissertação contou-se com a colaboração da empresa Moldes Catarino Lda., situada em Albergaria, Marinha Grande. A Moldes Catarino Lda. é uma empresa

especializada na conceção e produção de moldes de precisão em aço para as indústrias de plásticos. Fundada em 1981, tem como orientação estratégica a constante atualização de equipamentos e tecnologias bem como o reforço da capacidade técnica, competências e conhecimentos da equipa de forma a afirmar a sua posição num dos mais exigentes mercados. Produz moldes para clientes da indústria automóvel, eletrodomésticos, materiais elétricos, entre outros. Desde 2010 tem o estatuto de PME líder, atribuído pelo IAPMEI.

1.2 Motivação e objetivos

Tal como a indústria no geral, o meio científico também teve de se adaptar à situação atual e assim surgiu o tema desta dissertação. Com a necessidade urgente de equipamentos de proteção individual para os profissionais de saúde, e tendo em conta a falta de resposta em tempo útil a nível internacional, tornou-se absolutamente necessário o desenvolvimento e a produção célere deste tipo de equipamentos a nível nacional. O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia de resposta rápida para o desenvolvimento de EPI's e processos de fabricação dos mesmos em situações anómalas. O produto desenvolvido no âmbito desta dissertação é um equipamento de proteção ocular individual para utilização por parte de profissionais de saúde, obtido através do processo de moldação por injeção de plástico.

Sendo Portugal um dos maiores produtores de moldes na Europa é importante estar na vanguarda do conhecimento das tecnologias que se usam para os fabricar. Se aliado ao conhecimento de projeto de moldes estiver o conhecimento de projeto de peças plásticas, podem aproveitar-se as instalações atuais de teste de moldes para a produção de vários tipos de produtos. O comércio destes produtos pode ser importante na sustentabilidade do negócio por proporcionar uma fonte de rendimentos secundária. É, no entanto, importante compreender os requisitos nacionais, europeus e mundiais para a sua comercialização.

A motivação para a realização desta dissertação é a disponibilização de mais uma solução de EPI para utilização por profissionais de saúde. A proteção da linha da frente é fundamental no combate a uma pandemia.

A partir da pesquisa bibliográfica efetuada procuraram identificar-se os principais requisitos dos EPI, as respostas dadas a esta questão pela comunidade científica internacional, a capacidade de produção em grande escala por parte da indústria e as características gerais a que devem obedecer quer os EPI's quer o desenvolvimento dos respetivos moldes.

O objetivo deste trabalho subdivide-se em duas vertentes. A primeira, científica, por definir uma metodologia de resposta rápida para o desenvolvimento de produto e de processo, facilitando o seu desenvolvimento em situações anómalas, como a atual. A segunda, tecnológica, pelo facto de se potenciar o conhecimento numa empresa industrial para o desenvolvimento de produtos próprios, assegurando a sua competitividade em situações anómalas, como a atual.

1.3 Estrutura da Dissertação

O presente documento apresenta-se dividido em seis partes:

Capítulo 1: Neste capítulo é dado a conhecer o enquadramento e são explicados a motivação e os objetivos desta dissertação. É feita uma apresentação da empresa onde foi realizada a dissertação e do projeto que conduziu à conceção dos produtos. É ainda efetuada uma contextualização histórica da indústria dos moldes em Portugal.

Capítulo 2: No capítulo 2 é realizada a análise do estado da arte do desenvolvimento de EPI em contexto pandémico (SARS-CoV-2). São ainda apresentados os conceitos fundamentais relativos aos materiais poliméricos, especialmente os termoplásticos. Devido à complexidade quer do processo de injeção de termoplásticos, quer do projeto de moldes são, em seguida, apresentados os fundamentos de ambos que se justificam para a compreensão das decisões tomadas. É elaborado um breve resumo dos principais aspetos a ter em consideração no projeto do molde. O principal objetivo deste capítulo é a exposição dos conhecimentos-base que permitem o desenvolvimento da metodologia apresentada no capítulo seguinte.

Capítulo 3: Aqui são descritos os princípios e ferramentas fundamentais da metodologia DIPP utilizada para a injeção termoplástica do EPI. São abordados os conceitos de projeto para manufatura e projeto para certificação.

Capítulo 4: Neste capítulo é feita a descrição das várias equipas *IPT*, dos seus objetivos e das alterações nas tarefas de cada uma. É descrita a metodologia utilizada no projeto do EPI. São apresentados os requisitos funcionais dos profissionais de saúde assim como os regulamentos e normas europeias em vigor. É, sucintamente, abordado o projeto do molde do conjunto armação e lente e as ferramentas utilizadas para o seu desenvolvimento.

Capítulo 5: O capítulo 5 apresenta os resultados obtidos, a partir dos procedimentos experimentais descritos no capítulo anterior. É feita uma análise ao EPI, com base nos seus requisitos funcionais, ao processo de certificação e aos resultados obtidos na simulação necessária ao projeto do molde.

Capítulo 6: Finalmente, no capítulo 6, são apresentadas as conclusões retiradas desta dissertação. São identificados os principais obstáculos e vantagens da metodologia utilizada. São também apresentadas propostas de trabalhos futuros.

2.1 Estado da arte

A atual pandemia de *COVID-19* forçou o aumento da procura global de equipamentos de proteção individual (EPI). As condições de quarentena tiveram um impacto significativo nas taxas de produção e cadeias de abastecimento globais, que coincidiu com esse aumento. A escassez deste tipo de equipamento tem sido particularmente prevalente nos países ocidentais, que normalmente dependem de cadeias de abastecimento globais para obter esses tipos de dispositivos de economias de baixo custo [2]. Em termos internacionais, verificou-se que a capacidade de produção está severamente limitada na maioria dos países. No caso das economias subdesenvolvidas simplesmente não existe capacidade instalada, mas no caso dos países desenvolvidos, particularmente os ocidentais, a situação é mais particular. Com efeito, nas últimas décadas, os países ocidentais concentraram-se na fabricação de produtos de baixo volume, alto valor acrescentado e grandes margens de lucro. Consequentemente, a produção de produtos de alto volume e baixa margem foi dirigida para economias de baixo custo, e foram estabelecidas longas e complexas cadeias de abastecimento. Se por um lado a aplicação de estratégias *just-in-time* e ideologias *Lean* levou a reduções de custos significativas, conduziu também à situação das cadeias de abastecimento terem pouca resiliência a interrupções globais, com quase 35% dos fabricantes a referir a existência de perturbações devido à pandemia de coronavírus (*COVID-19*) [3]. Como essa procura é mundial, há queda nos *stocks* e ausência de excedentes, o que, aliado à redução da produção, causa interrupções das cadeias de transporte e distribuição, todas globais e *offshore*. Acresce o aumento do controle aduaneiro entre os países.

O diretor-geral da OMS afirmou: “Sem cadeias de abastecimento seguras, o risco para os profissionais de saúde em todo o mundo é real. A indústria e os governos devem agir rapidamente para aumentar a oferta, aliviar as restrições às exportações e implementar medidas para impedir a especulação e o açambarcamento. Não podemos parar a pandemia de *COVID-19* sem proteger primeiro os profissionais de saúde” [4]. Verificou-se então o arranque de iniciativas, tanto a nível político como industrial, para aumentar e reorientar a produção dos suprimentos necessários a nível nacional [5].

Uma vez que estas abordagens dizem respeito a taxas de produção elevadas e de longo prazo, podem, tradicionalmente, levar entre semanas e meses a serem estabelecidas. A escala de tempo crítica associada à pandemia de *COVID-19* é da ordem de dias a semanas, o que exige uma produção rápida, económica e localizada. O reaproveitamento de instalações de produção em massa domésticas tem o potencial de atender às necessidades médicas em semanas; no entanto, a procura imediata associada ao vírus levou à mobilização de uma força de trabalho diversificada e distribuída. A seleção de processos de fabricação adequados é fundamental para o sucesso dessas operações [2].

Neste sentido, a importância da comunidade de *R&D* acresce uma vez que existe uma necessidade urgente de abordagens e métodos institucionais em grande escala que possam ser rapidamente aplicados localmente por não especialistas com recursos limitados. Dargaville *et al.* [6] afirmam que a investigação, sob o ponto de vista dos materiais, deverá focar-se, de forma imediata, numa avaliação abrangente das várias opções de reciclagem de EPI (que parcialmente já existem) e em estratégias para reciclagem em grande escala e utilização alargada de EPI e seu impacto nas propriedades e funcionalidade dos materiais. Em paralelo, poderão ser adotadas medidas simples que permitam o rastreamento do uso individual, tornando possível a reutilização dos equipamentos e, com base em testes comparativos, possibilitando melhores métodos de reciclagem e esterilização definindo os prós e os contras de abordagens específicas.

Segundo Rowan *et al.* [7], a tendência de fabricantes de dispositivos médicos e instituições académicas de redistribuir conhecimento e recursos para desenvolver EPI para dar resposta à crise resultante é de âmbito internacional. Os EPI's são suscetíveis ao calor e não são, tradicionalmente, destinados a reprocessamento. A maioria das tecnologias de esterilização convencionais usadas em hospitais não se adequa devido à própria natureza e severidade das formas de esterilização. O reprocessamento do EPI deve tomar em consideração a composição do material, a funcionalidade pós-tratamento e a desinfeção adequada. Atualmente existe uma escassez na literatura publicada sobre a eficácia das inovações para o reprocessamento de EPI, por serem fabricados para uso único. Se, tradicionalmente, a partilha de conhecimento nestas áreas é limitada, neste momento há uma tendência crescente das principais indústrias de publicar resultados que também auxiliam na formação de normas, diretrizes e regulamentações com foco na preparação para o futuro, maior utilização de recursos e sustentabilidade [8][9].

Este período difícil fortaleceu a solidariedade social numa dimensão que se pode considerar paralela à intensificação da pandemia. Instituições educacionais e governamentais, organizações comerciais e não comerciais e utilizadores individuais uniram-se na produção de equipamentos médicos específicos através de fabrico aditivo (AM), e serviram de suporte para a procura urgente nos serviços de saúde. Uma grande vantagem da impressão 3D é a forma rápida como as iterações de projetos específicos podem ser feitas fisicamente para teste e avaliação. Esta tecnologia de prototipagem, embora sendo benéfica na fase de desenvolvimento de um produto por encurtar o tempo de comercialização, pode conduzir a problemas no caso de uma situação de pandemia. As viseiras, protetores faciais, tornaram-se um item popular de produção, e muitas variações de design e protótipos foram lançados [10][11][12], sendo de destacar os produzidos no DEMI e na Moldes Catarino Lda. Outros EPI, nomeadamente máscaras respiratórias [13] e válvulas de ventilação [14], são também exemplos.

O design do protetor facial original de Josef Prusa [15] foi o mais comumente utilizado, mas para satisfazer a procura elevada, rapidamente foram concebidos modelos otimizados no tempo de impressão.

Um dos grandes desafios que surgiram foi o facto de os modelos não terem sido testados e comprovados de antemão, particularmente os modelos de máscaras respiratórias, o que resultou

em problemas menores, como máscaras não sendo confortáveis de usar, ou problemas mais graves com as máscaras que não funcionam corretamente ou que prejudicam o utilizador por não fornecendo fluxo de ar suficiente ou não possuir proteção viral. Clifton *et al.* [16], realçaram que dado os princípios da medicina moderna serem construídos sobre validação rigorosa de pesquisas baseadas em hipóteses, a abordagem atual para investigação no âmbito do EPI impresso em 3D parece estar invertida, uma vez que a distribuição aberta e a propagação de protótipos ocorrem antes da validação e formulação da hipótese. Não há dúvida de que uma solução imediata deve ser implementada e o uso prevalente da impressão 3D tem o potencial de ajudar a resolver a crise de EPI em todo o mundo usando metodologia robusta e verificação concentrada.

Embora a tecnologia de fabrico aditivo possa ser utilizada para produzir vários tipos de equipamentos não comerciais, essa abordagem de fabricação rápida é limitada devido ao tempo de produção mais longo em comparação com a produção em série convencional e a elevada procura. A maioria dos modelos são projetados com pouca consideração pelas necessidades clínicas, não são ergonómicas, e não são projetados de acordo com as metodologias *DfX* (neste caso, *Design for AM [DfAM]*). Consequentemente, é necessário o tempo de produção de até 4 a 5 h para alguns produtos com esses designs. Celik *et al.* [17] propõem um protetor facial médico competitivamente mais leve, relativamente mais ergonómico, fácil de usar e que pode ser montado sem componentes extras. Realizaram ainda a verificação do projeto estrutural baseada em análise de elementos finitos, e produziram um protótipo 3D por *FFD*. Este estudo demonstrou que um design de protetor facial original com <10 g de material pode ser produzido em menos de 45 minutos. A proposta de metodologia *DfAM* demonstrou-se útil para equipamentos médicos simples, como protetores faciais, como uma abordagem essencial para combater pandemias virais semelhantes a coronavírus.

2.2 Conceitos Fundamentais

A pesquisa bibliográfica efetuada visa ainda abranger o conhecimento de materiais e tecnologias utilizadas no fabrico de moldes de forma a tomar decisões ponderadas no projeto dos óculos de proteção. São abordados conceitos do ponto de vista do projeto de moldes, sendo este o departamento onde foi despendido mais tempo ao longo do trabalho conducente a esta dissertação. No entanto, tendo em conta a abrangência dos conhecimentos necessários para a compreensão da indústria dos moldes e da injeção plástica, apenas foram incluídos nesta pesquisa os conceitos fundamentais para a compreensão das decisões tomadas.

A revisão bibliográfica encontra-se dividida segundo os pontos fundamentais da pesquisa, nomeadamente:

- Polímeros;
- Moldagem de injeção de termoplásticos;
- Processo produtivo do molde;
- Projeto de moldes;

- Técnicas assistidas por computador;
- Aços para moldes;
- Testes.

2.2.1 Polímeros

Os polímeros são moléculas de grandes dimensões (macromoléculas) constituídas pela repetição de moléculas de menores dimensões (monómeros), em cadeia. Em alguns casos esta repetição é linear, noutros é ramificada, formando redes com três dimensões. Existem vários critérios segundo os quais é possível classificar polímeros. A classificação mais consensual é apresentada na Figura 2.1, e divide-se em polímeros naturais, semi-sintéticos e sintéticos. [18]

Os polímeros naturais são extraídos diretamente da natureza, por exemplo o látex. Os polímeros semi-sintéticos (ou artificiais) são obtidos através de reações químicas entre substâncias naturais. A caseína e o etanoato de celulose são exemplos deste tipo de polímeros. Os polímeros sintéticos são produzidos por ação do Homem através de processos de transformação. Estes podem ainda ser divididos em elastómeros, termoplásticos e termoendurecíveis.

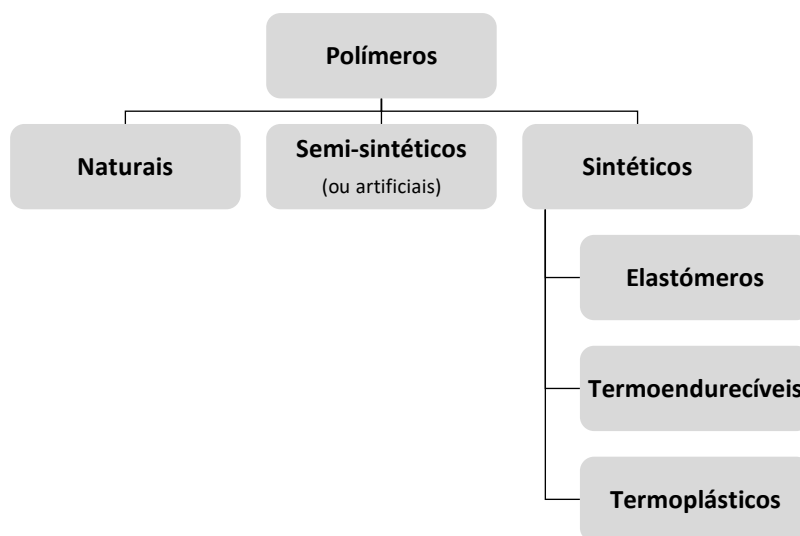


Figura 2.1 Classificação comum de polímeros. *Adaptado de [3]*

Os elastómeros possuem um elevado grau de elasticidade e quando submetidos a uma tensão, no domínio elástico, deformam-se significativamente. Esta deformação é reversível sendo que o material volta às suas dimensões quando a mesma é removida. Existem elastómeros de origem natural e sintética e podem ser termoendurecíveis ou termoplásticos. Os termoendurecíveis assumem a sua forma definitiva quando processados, ou seja, quando sujeitos a um único ciclo térmico não podem voltar a ser submetidos a novo aquecimento sem deterioração das suas propriedades. São formados por estruturas poliméricas muito ramificadas e a coesão intermolecular é garantida por ligações químicas fortes – as reticulações. Os termoplásticos suportam vários ciclos térmicos (fusão e subsequente solidificação) sem perda significativa das

suas propriedades. São constituídos por macromoléculas lineares ou ligeiramente ramificadas e a coesão intermolecular é garantida por ligações químicas fracas.

Em termos de importância comercial na injeção de termoplásticos, são considerados os grupos da Figura 2.2. Por vezes, são adicionados aditivos a alguns destes materiais, de forma a melhorar determinadas propriedades do polímero base [19]. De entre os aditivos mais comuns destacam-se as cargas inorgânicas, as fibras curtas ou outros termoplásticos [20].

Como é impossível uma descrição sucinta de todos os polímeros ponderados para utilização nos diferentes componentes, são, de seguida, abordados apenas aqueles que foram utilizados nas diferentes peças do equipamento de proteção individual ocular, nomeadamente polipropileno (PP), policarbonato (PC) e termoplástico de poliuretano (TPU).

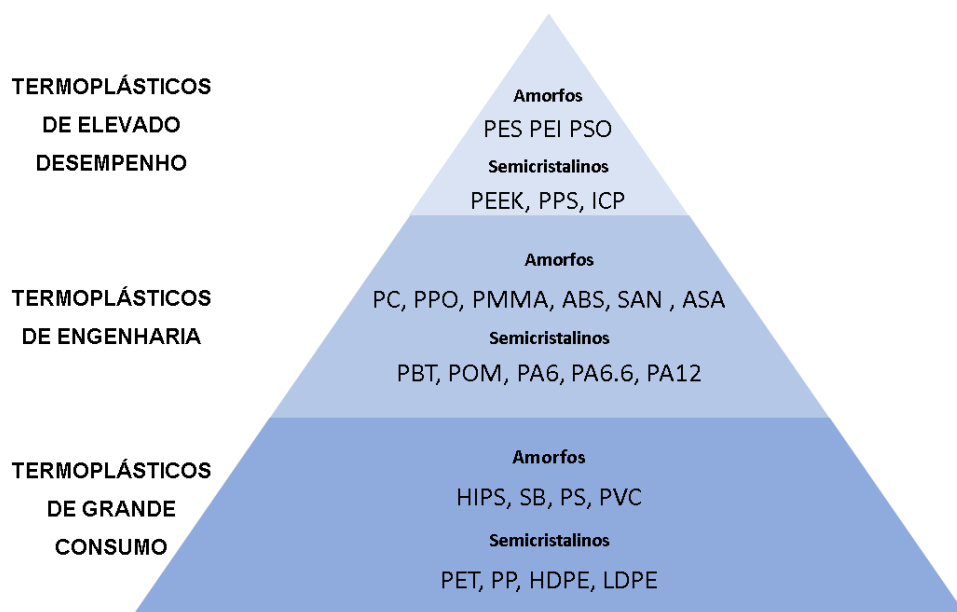


Figura 2.2 Classificação de termoplásticos comerciais e exemplos. *Adaptado de [20]*

O polipropileno (PP) é um polímero semicristalino termoplástico de grande consumo com enorme importância no domínio das aplicações injetadas. O material combina rigidez e resistência estrutural com um baixo grau de compactação molecular. A este compromisso de características junta-se ainda uma elevada processabilidade. Os copolímeros de PP apresentam uma grande expressão comercial. O policarbonato (PC) é um polímero amorfo termoplástico de engenharia por excelência, aliando transparência, rigidez, resistência à flexão e estabilidade dimensional a uma excecional resistência ao impacto. Por ser transparente é muitas vezes utilizado na produção de peças oculares. Os elastómeros termoplásticos são um conjunto de materiais de comportamento elastomérico (grande capacidade de deformação, com recuperação imediata após a remoção da respetiva carga) e de características termoplásticas (molificam por ação do calor e recuperam a rigidez quando arrefecidos, de uma forma reversível). O termoplástico de poliuretano (TPU) é um elastómero termoplástico de engenharia e pertence ao grupo de materiais de maior desempenho sobretudo ao nível da temperatura de utilização e da resistência química. No entanto, a sua dureza é elevada. [20] Na Tabela 2.1 são apresentadas algumas propriedades destes materiais.

Tabela 2.1 Propriedades do PP, do PC e do TPU

	PP	PC	TPU
Densidade	0.901	1.2	1.2
T _g /T _m [°C]	-174	150	-40/20
Temp. máx serviço [°C]	100-110	140	-
Módulo [GPa]	1.3	2.8	0.25
Resistência Tração [MPa]	35	65	40
Izod. c/ entalhe [J/m]	100	700	-
Coef. dil. Linear [1/°C x E5]	8.0	7.0	-
Contração [%]	1.3 a 2.5	0.6 a 0.7	0.8 a 1.5

2.2.2 Moldagem de injeção de termoplásticos

A moldagem de injeção plástica é o processo de obtenção de peças plásticas através da fusão da matéria-prima. Neste documento abordar-se-á, fundamentalmente, a tecnologia de moldação de termoplásticos. A rotina típica de transformação deste tipo de polímeros envolve, sequencialmente, as seguintes etapas:

1. Aquecimento do material até este adquirir uma viscosidade suficientemente baixa;
2. Enformação sob pressão;
3. Arrefecimento com consequente recuperação da rigidez.

Esta rotina é exercida sobre compostos a moldar, com características específicas sendo de realçar a **baixa difusidade térmica**, pois os plásticos são intrinsecamente, maus condutores de calor, o **comportamento reológico**, pois os termoplásticos, quando no estado fundido, apresentam-se sob a forma de fluídos de elevada viscosidade e com comportamento reofluidificante (a viscosidade é função da taxa de deformação imposta ao material) e a **elevada dependência térmica da densidade**, pois o modo de organização das cadeias moleculares constituintes de um sistema polimérico é altamente dependente da temperatura.

O processo de moldação por injeção de termoplásticos desenvolve-se da seguinte forma:

- O material plástico, sob a forma de *pellets*, é carregado na tremonha da máquina de injetar e alimentado para o interior do cilindro de plasticização onde é aquecido a fim de plasticizar e ficar homogêneo;
- O aquecimento do material é garantido pelo calor transmitido através das paredes do cilindro e pelo efeito de dissipação viscosa, em resultado do esforço mecânico gerado pela rotação do fuso;
- O fundido resultante é forçado, sob pressão, a fluir para dentro de um molde, o qual irá encher e arrefecer devido às trocas de calor com a superfície moldante;
- O processo conclui-se com a extração da moldação, posteriormente ao arrefecimento.

No caso de borrachas vulcanizadas ou termoendurecíveis o molde está a uma temperatura mais elevada que a do cilindro, para garantir a reticulação do material.

Os dois equipamentos essenciais para o processo são uma máquina de injeção e um molde. Um conjunto adicional de equipamentos pode, no entanto, ser necessário, nomeadamente: dispositivos de transporte e alimentação de matéria-prima, robô/manipulador para manuseamento de moldações/sistemas de alimentação, tapete, moinho granular (para reciclagem) e dispositivos de controlo da temperatura do molde. [20]

O conjunto de operações necessário à produção de uma moldação designa-se por ciclo de moldação (Figura 2.3).

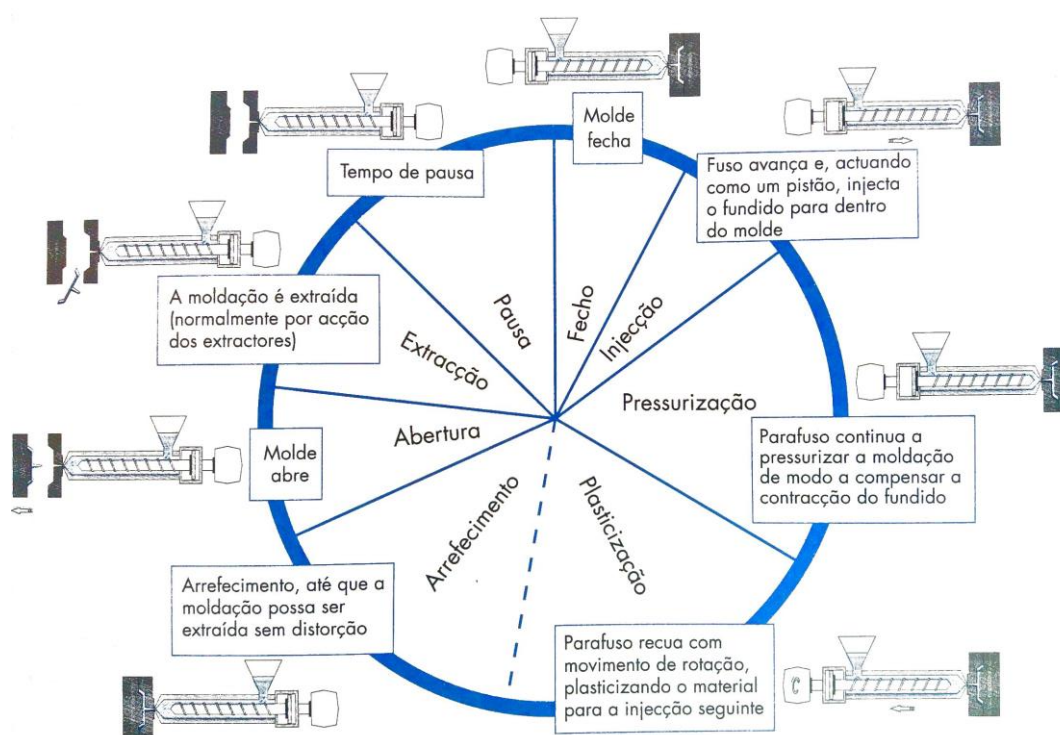


Figura 2.3 Ciclo de moldação. Adaptado de [20]

As fases do ciclo de moldação são praticamente independentes do tipo de máquina. No entanto a sua duração pode ser muito diversa, variando de acordo com a espessura da peça. As fases típicas deste ciclo são:

Fecho e trancamento - É a primeira fase e deve ser tão rápida quanto possível. As limitações às velocidades advêm de: inércia de grandes massas, danificação das superfícies de ajustamento e eventuais movimentos internos do molde

Injecção - É garantida pelo avanço linear do fuso que força o material fundido (previamente depositado à sua frente) a entrar no molde e a fluir no seu interior. A injeção inicia-se após o cilindro ter encostado o bico ao molde (em alguns casos este permanece permanentemente encostado) e deverá terminar quando a impressão está preenchida a 95% do seu volume. Caudais de injeção

entre 100 e 500 cm³/s são uma prática comum. A velocidade de injeção selecionada corresponde a um compromisso entre rapidez e qualidade do produto final.

Pressurização - Depois do enchimento do molde, é necessário continuar a pressurizar, de forma a reduzir o efeito de contração por arrefecimento e evitar o refluxo do fundido. Pressões excessivas podem, no entanto, causar danos na peça e dificultar a sua extração. Termina quando a entrada de material nas zonas moldantes, ou a própria peça, estejam suficientemente arrefecidos para inibir o fluxo de material. O ajuste desta fase é crítico para a qualidade do processo.

Arrefecimento - Logo que tenha ocorrido a consolidação do ataque, o parafuso de plasticização pode começar a rodar iniciando a plasticização do material para o ciclo seguinte. Durante este processo, o fuso é obrigado a recuar por efeito da pressão criada pelo material que se vai depositando na sua frente. A moldação continua a arrefecer no molde. Termina assim que a peça atinja uma temperatura que permita a desmoldação sem distorção.

Abertura e extração - O tempo para esta operação é função da máquina utilizada (das características da sua unidade de fecho), do curso de abertura do molde e dos movimentos desta ferramenta necessários para garantir a extração da moldação.

Tempo de pausa (tempo morto) - É o tempo que decorre entre o fim da extração e o início do novo ciclo. É desejável que seja nulo, o que deverá acontecer em situações de funcionamento em regime automático.

A constituição típica de uma máquina de moldar por injeção (Figura 2.4) tem, tipicamente, quatro unidades, nomeadamente, a **unidade de potência** que fornece a energia adequada aos diversos atuadores da máquina. Está baseada num sistema de pressão óleo-hidráulico, acionado por um motor elétrico, a **unidade de plasticização** que promove o transporte, aquecimento, plasticização e homogeneização do material, desde a base da tremonha até ao bico de injeção. Também garante a subsequente injeção e pressurização do fundido. A dimensão desta unidade quantifica-se pela capacidade de injeção (expressa em gramas de poliestireno), a **unidade de fecho** que assegura a fixação e a movimentação do molde, devendo ser capaz de o manter fechado durante as fases de injeção e pressurização. Integra também os dispositivos necessários à extração. Quantifica-se pela força de fecho, expressa em quilonewtons ou toneladas e a **unidade de comando** que garante a monitorização e controlo das diversas variáveis do processo, além de assegurar a interface com o operador e as comunicações com periféricos.

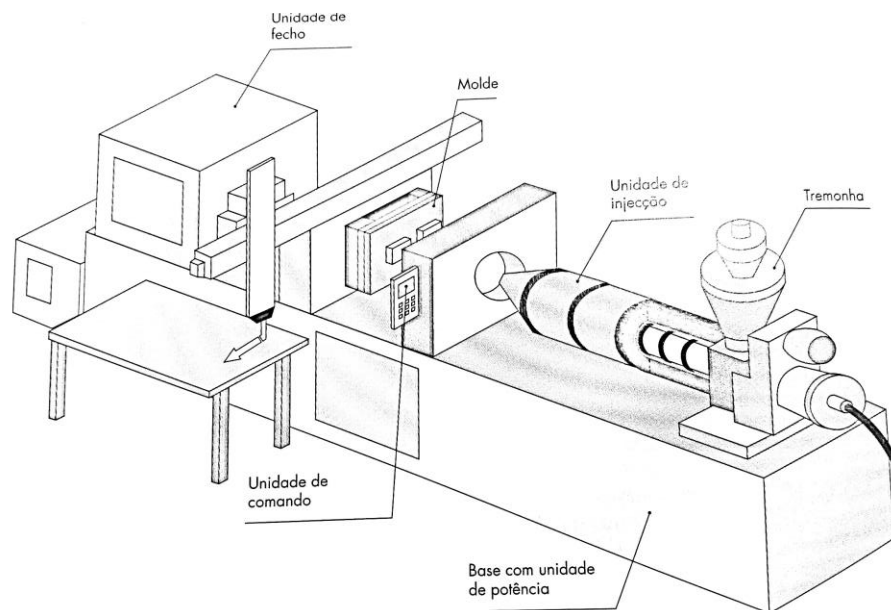


Figura 2.4 Unidades funcionais de uma injetora. *Adaptado de [20]*

Um molde para termoplásticos, em termos industriais, é uma ferramenta que se destina a dar forma a um determinado termoplástico [21]. Pode ser entendido com um conjunto de sistemas funcionais que permitem que um espaço, em que a peça vai ser materializada, definido pela cavidade e pela bucha – a impressão –, seja preenchido com o plástico fundido em condições controladas, pelos outros sistemas, que garantem a qualidade dimensional e estrutural das peças produzidas. Geralmente, a injeção é feita do lado da cavidade e a extração é realizada do lado da bucha. Os principais sistemas de um molde são a **estrutura**, que assegura a solidez estrutural do molde; o **guiamento**, que mantém o perfeito alinhamento da cavidade com a bucha; a **alimentação**, que permite o percurso do fundido; o **controlo de temperatura**, que assegura que nas superfícies moldantes a temperatura seja tão uniforme quanto possível e que o arrefecimento se faça de uma forma rápida e eficiente; a **extração**, que faz com que as moldações sejam retiradas do molde.

Existem diferentes formas de fazer a fixação do molde à máquina de injeção, variando consoante a frequência com que um determinado molde está na máquina de injeção. A forma mais convencional de montar um molde numa máquina de injeção é utilizando uma montagem vertical com o apoio feito manualmente. Nestes casos para garantir o alinhamento do jito com o bico da máquina, os moldes têm de ter um anel de centragem, com um diâmetro idêntico ao do furo existente no prato fixo da injetora. Em moldes de grandes dimensões é conveniente, também, a existência de um anel de centragem do lado da extração.

O molde, transportado por uma ponte rolante ou pórtico, é descido entre os pratos da máquina e o anel de centragem é ajustado no prato. De seguida fecham-se os pratos da máquina e apertam-se as placas de aperto da injeção e da extração através de grampos de fixação. De seguida ligam-se os circuitos (pneumáticos, elétricos, hidráulicos, etc.).

MATERIAL	ABS	ASA	CA	PA 6	PA 66	PBT	PC	PC-ABS	PC-PBT	PC-PET	PE	PET	PMMA	POM	PP	PPO	PS	SAN	TPE	TPU	LSR
ABS	Excellent	Good	Moderate	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good
ASA	Good	Excellent	Moderate	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good
CA	Moderate	Good	Excellent	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good
PA 6	Good	Good	Good	Excellent	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good
PA 66	Good	Good	Good	Good	Excellent	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good
PBT	Good	Good	Good	Good	Good	Excellent	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good
PC	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Excellent	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good
PC-ABS	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Excellent	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good
PC-PBT	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Excellent	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good
PC-PET	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Excellent	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good
PE	Moderate	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Excellent	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good
PET	Moderate	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Excellent	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good
PMMA	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Excellent	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good
POM	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Excellent	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good
PP	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Excellent	Good	Good	Good	Good	Good	Good
PPO	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Excellent	Good	Good	Good	Good	Good
PS	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Excellent	Good	Good	Good	Good
SAN	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Excellent	Good	Good	Good
TPE	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Excellent	Good	Good
TPU	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Excellent	Good
LSR	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good

Figura 2.5 Compatibilidade dos materiais. Adaptado de [22]

Para a moldagem de uma determinada peça com dois ou mais componentes é utilizada a injeção multi-componente. É possível injetar componentes com materiais diferentes (multimaterial), dentro do mesmo molde, dentro da mesma máquina de injeção, no mesmo ciclo. Para tal são, geralmente, utilizados moldes em que uma determinada parte do molde é rotativa. Componentes mais flexíveis que são sobremoldados permitem uma redução do esforço de montagem para vedações complexas. É importante ter em consideração a adesão (ou não) dos materiais dos vários componentes (Figura 2.5) [22]. Normalmente, os equipamentos de transformação têm várias unidades de plasticização (em número igual aos materiais a moldar), posicionadas em diferentes partes, no lado da injeção [20].

Uma das técnicas mais comuns consiste na utilização de moldes *index plate* (Figura 2.6). O *index plate* desempenha a função de mover os componentes parcialmente concluídos de um conjunto cavidade/bucha para outro. As diferentes fases do processo são apresentadas na Figura 2.7 [23]. Apesar de ser mais morosa e mais dispendiosa que outras técnicas de injeção multicomponente permite a injeção de peças mais complexas.

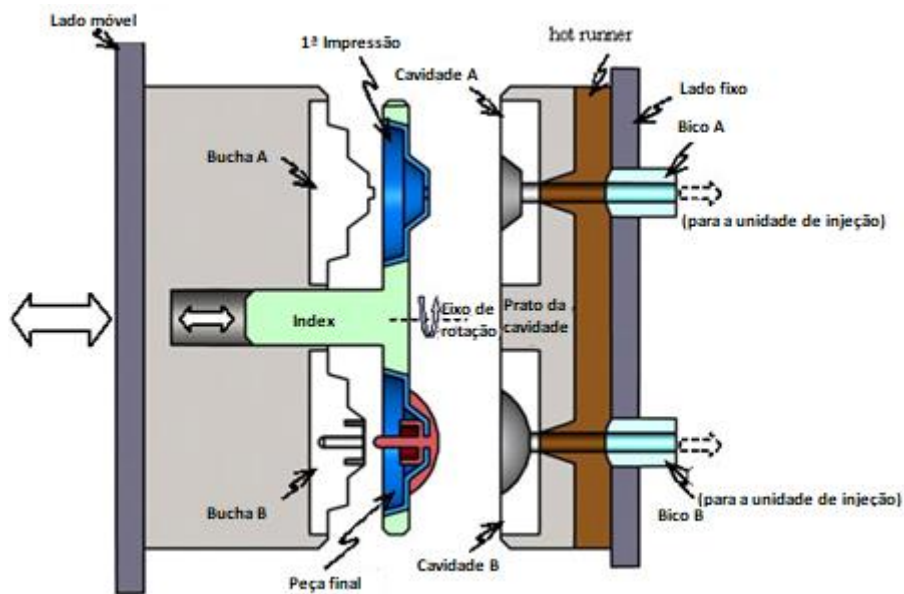


Figura 2.6 Mold e *index plate* e principais componentes. Adaptado de [23]

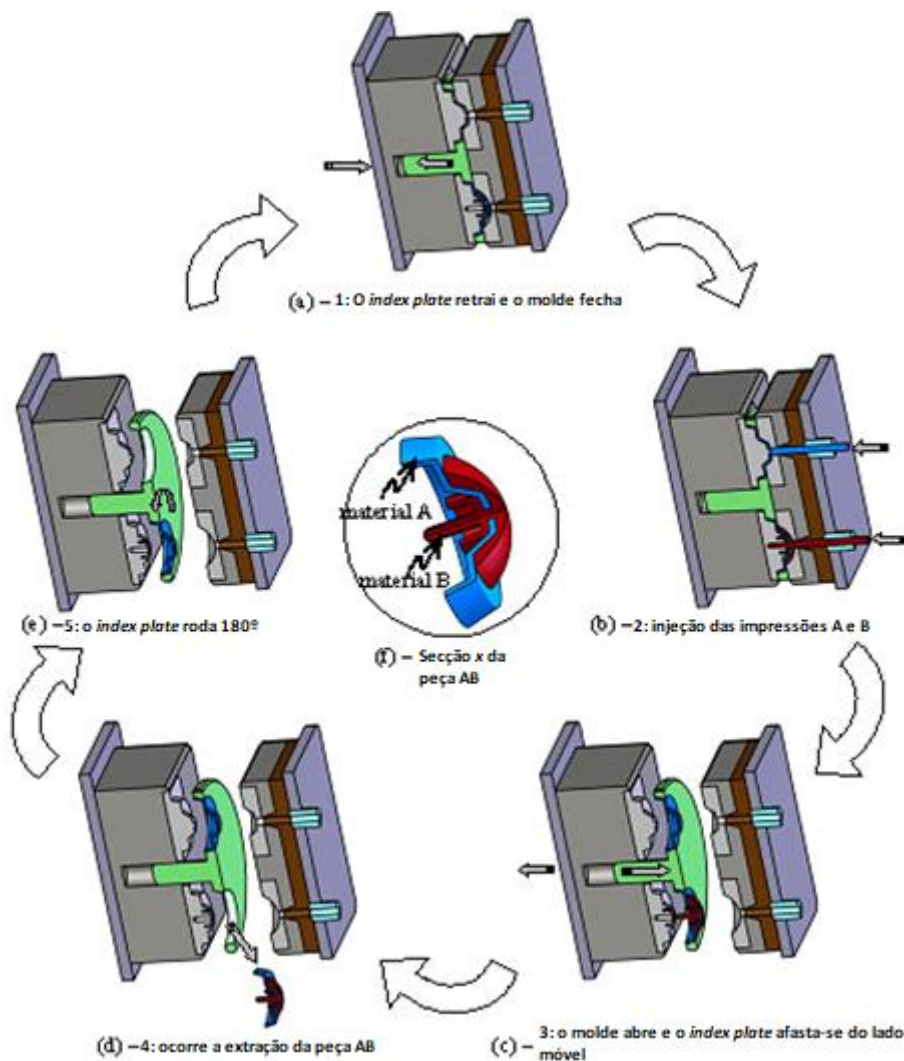


Figura 2.7 Esquema das fases da moldação *index plate*. Adaptado de [23]

Os elastómeros termoplásticos podem ser processados como materiais termoplásticos devido à sua matriz termoplástica. Para a injeção de elastómeros termoplásticos são utilizados sistemas de canais frios, de forma a reduzir perdas nos canais. Os elastómeros mais comuns são bastante viscosos na unidade de injeção. Todos os elastómeros tendem a criar rebarba devido à redução de viscosidade no molde. Visto isto, os rasgos para a saída de gases devem ser inferiores a 0.01 mm. As impressões de elastómeros são facilmente dobráveis, o que significa que os extratores apenas podem ser utilizados até um certo ângulo. Outra maneira comum de extrair elastómeros consiste na expansão elástica da impressão com ar comprimido.

2.2.3 Processo produtivo do molde

O processo produtivo de um molde (Figura 2.8) é apenas respeitante às operações. Se forem considerados os *timings* são consideradas quatro etapas distintas (A, B, C, D). [21]

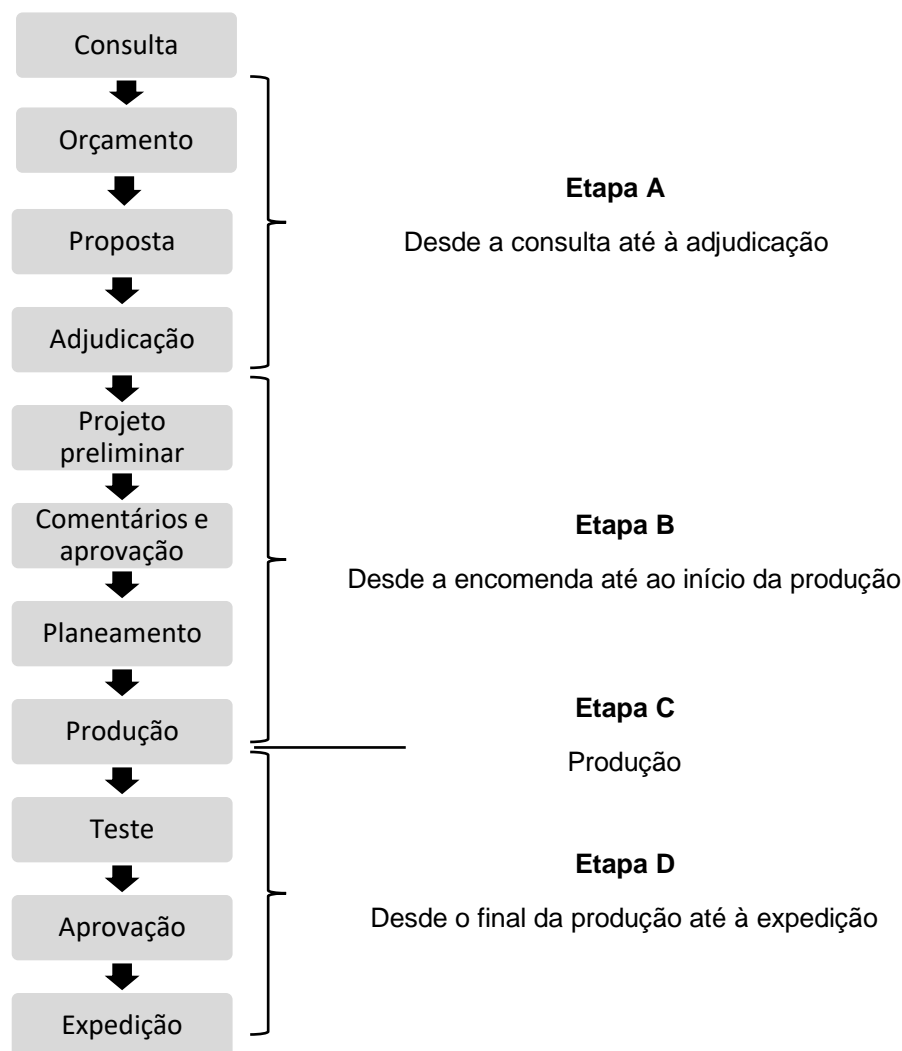


Figura 2.8 Fluxograma do processo produtivo de um molde. *Adaptado de [21]*

As etapas comuns do processo de projeto e maquinação de moldes garantem qualidade, um prazo de entrega curto e preço reduzido. Por serem, por vezes, necessárias alterações requeridas pelo cliente, são também necessários reajustes e re-maquinações do molde. O

processo é iterativo. Grande parte das empresas de moldes, em Portugal, dedica-se, quase exclusivamente, ao fabrico de moldes. Sendo assim, o desenvolvimento e as alterações do produto estão dependentes do cliente que encomendou o fabrico do molde.

Quando uma empresa de fabricação de moldes metálicos passa também a desenvolver e fabricar produtos, alguns dos passos comuns do processo produtivo do molde são suprimidos (Figura 2.9). As fases de consulta, proposta e adjudicação são suprimidas por não existir cliente externo. A fase de projeto preliminar, comentários e aprovação inicial e aprovação final surgem com outros intervenientes. No caso da empresa ter máquinas de injeção, a fase de expedição é substituída pela fase de produção da peça.



Figura 2.9 Fluxograma do processo produtivo de um molde, numa empresa onde há projeto da peça

2.2.4 Projeto de moldes

Para o projeto de moldes é necessário ter conhecimento aprofundado do funcionamento de um molde. Estas noções envolvem o conhecimento de todos sistemas que constituem um

molde, das diferentes opções disponíveis para a moldação e dos componentes associados a cada uma. É necessário ter uma sólida compreensão de metodologias de desenho assistido por computador, de forma a especificar mecanismos e componentes, e de engenharia assistida por computador, de forma a ajudar na tomada de decisão.

No projeto de moldes, a identificação dos componentes de um molde tem uma numeração específica, algumas vezes referida ao longo deste documento (Anexo 1).

- **Sistema de alimentação**

O sistema de alimentação permite o percurso do fundido desde a máquina de injetar até à impressão. Este pode ser de canais frios ou quentes dependendo, essencialmente, da produção prevista e do material a injetar. A Figura 2.10 mostra os principais componentes de um sistema de alimentação de canais frios.

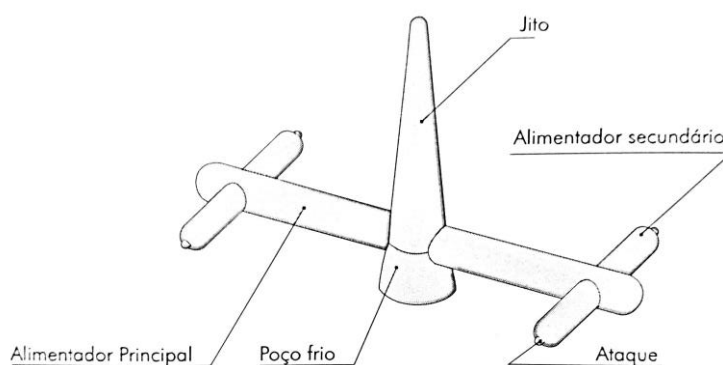


Figura 2.10 Constituição do sistema de alimentação de canais frios. *Adaptado de [20]*

A função de um sistema de alimentação de canais quentes é manter o material no estado fundido desde o bico da injetora até à zona moldante, evitando a sua solidificação prematura. Permitem a obtenção de peças sem extração do sistema de alimentação.

A injeção submarina, geralmente de forma circular, é um tipo de ataque utilizado em sistemas de canais frios e é usada em desgitação automática em moldes de duas placas (Figura 2.11). Tem o inconveniente de deixar uma marca muito visível na parte lateral das peças: a deformação plástica que o material sofre quando se remove o jito leva ao aparecimento de uma marca esbranquiçada na zona do ataque. O diâmetro recomendado do ataque varia entre 0.25 a 2 mm.

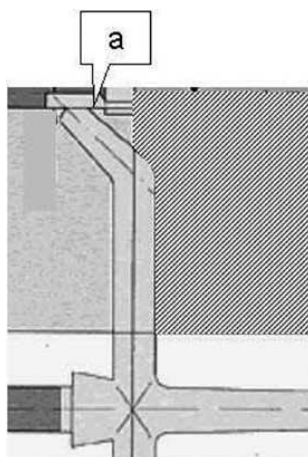


Figura 2.11 Injeção submarina (a - aresta de separação). *Adaptado de [20]*

Os bicos para ataque direto asseguram a ligação entre as zonas moldantes e o distribuidor em sistemas de alimentação de canais quentes. Os bicos para ataque direto terminam na própria zona moldante, ao contrário dos bicos indiretos que terminam num pequeno gito frio. Como consequência, deixam uma marca na peça injetada, cuja dimensão depende da geometria da ponteira e das propriedades do material. De forma a garantir uma boa separação do bico da peça injetada, existem vários tipos de ponteiras, adequadas à especificidade de cada material (Figura 2.12).

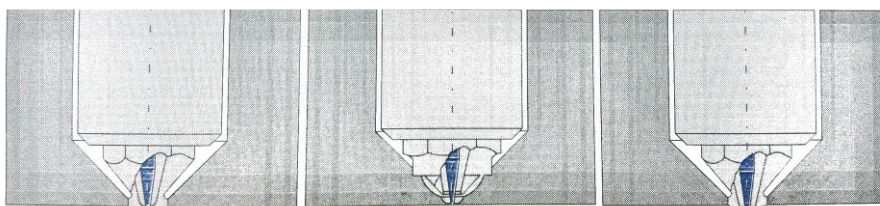


Figura 2.12 Exemplos de ponteiras para bicos para ataque direto. *Adaptado de [20]*

- **Sistema de fuga de gases**

Durante o enchimento do molde é importante que, na cavidade do molde, existam saídas de gases eficientes, para permitir que o ar saia quando a massa fundida entrar nas zonas moldantes. As saídas de gases deverão estar localizadas nas direções de fluxo do material. Saídas ineficientes ou mal localizadas poderão resultar num mau preenchimento da peça, linhas de soldadura e contração irregular da moldação. São particularmente importantes em zonas onde se dá o fim do enchimento ou a confluência de frentes de fluxo. Na maioria dos casos o ar pode escapar pelo plano de partição do molde. No entanto devem ser maquinados rasgos para um eficiente escape de gases. A profundidade destes rasgos é dependente do material a injetar.

- **Sistema de controlo da temperatura**

O sistema de controlo de temperatura garante um arrefecimento rápido e uniforme do fundido. A cristalinidade pode ser também afetada durante este processo, especialmente em termoplásticos semicristalinos. Para facilitar, acelerar e controlar o processo de transferência de

calor são maquinados, perto das zonas moldantes, furos de passagem para um fluido refrigerante. Diferenças de temperatura elevadas perto das zonas moldantes têm um efeito adverso na injeção da peça [24]. No projeto de sistemas de controlo de temperatura, é necessário ter em consideração as seguintes regras gerais:

1. Considerar circuitos independentes e simétricos relativamente à zona ou às zonas de enchimento e acompanhar da melhor forma possível a forma das peças.
2. O percurso não deve ser tão longo que permita o aquecimento do fluido em 5°C. É melhor ter vários circuitos independentes do que um único muito longo.
3. Todos os circuitos devem ser numerados.
4. Deve ser evitada a localização de entradas e saídas de refrigeração no topo do molde.
5. As ligações do sistema com o exterior devem ser normalizadas.
6. O uso de ligações com vedantes deve ser evitado.
7. Os furos de passagem devem estar a uma distância mínima de 4 mm dos extratores e a 15 mm das zonas moldantes.

Os circuitos podem apresentar três tipos de arquitetura de sistemas de controlo de temperatura. Quando utilizado para o arrefecimento das paredes laterais de peças retangulares, permitindo um controlo uniforme da temperatura do molde, designa-se **circuito para cavidades retangulares**. Quando usado para refrigerar zonas do molde onde a falta de espaço não permita criar o canal de retorno, designa-se **circuito de águas em cascata com lâmina separadora**. Neste tipo de circuito tem de se ter particular atenção à montagem da lâmina separadora, que deve ficar perpendicular ao furo de passagem para o obstruir, obrigando o fluido de refrigeração a ‘subir’ por um lado e ‘descer’ pelo outro. Para o *index plate* e para extratores de válvula recorre-se a arquiteturas de circuitos que passam pelas hastes, designado **circuito para index plate**. O número de canais que passam pelas hastes está dependente do diâmetro dos canais e do diâmetro da haste.

• Sistema de extração

No intervalo entre a abertura e o fecho do molde, a peça é extraída através do sistema de extração. Este sistema é, normalmente, atuado pela máquina de moldação por injeção. Um sistema de extração simples é apresentado na Figura 2.13. O sistema de extração é composto por placas dos extratores (1 e 2), suportes (3), botões de encosto (4), casquilhos da extração (5 e 6), pernos de retorno (7), extratores (8) e parafusos (9). Na extração de peças que não apresentam contra saídas ou saídas negativas, a extração pode fazer-se simplesmente pelo avanço das placas extratoras, que movimentam os dispositivos de extração, empurrando as peças. Os extratores podem ser de lâmina ou pode dar-se o caso de extração combinada.

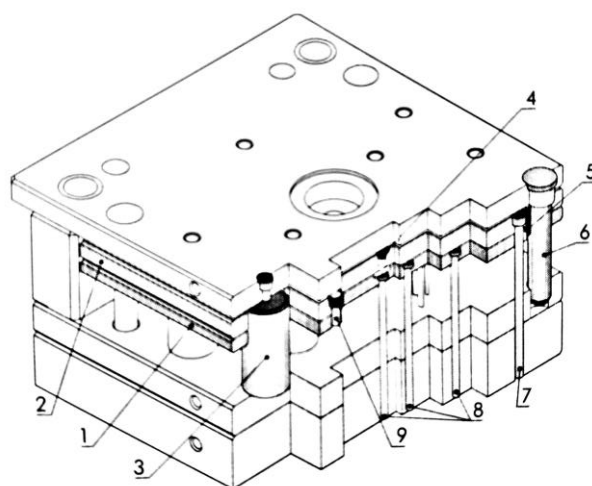


Figura 2.13 Sistema de extração simples. *Adaptado de [20]*

Os extratores de lâmina são particularmente úteis para extrair peças com contornos ou nervuras porque a força de extração nestas zonas é maior. Para evitar deformações na peça causadas pelo extrator, este deve ter uma área de contacto tanto maior quanto possível. Estas zonas são, geralmente, as últimas a encher causando prisões de ar. A folga de ar entre os extratores e os furos onde estes estão alojados permite o escape do ar, evitando defeitos. Estes extratores devem ser montados em postiços, de modo a facilitar o processo de maquinação, as operações de acabamento e montagem e reduzir o risco de fratura devido à fragilidade destas peças. Devem ser guiados por casquilhos (Figura 2.14). A extração combinada é utilizada em materiais que tendem a criar zonas de vácuo entre a peça e a bucha, que representa um problema durante a desmoldação. A utilização de ar comprimido permite eliminar o vácuo e facilitar a extração. Na Figura 2.15 está ilustrado um molde com extração combinada (extrator + ar).

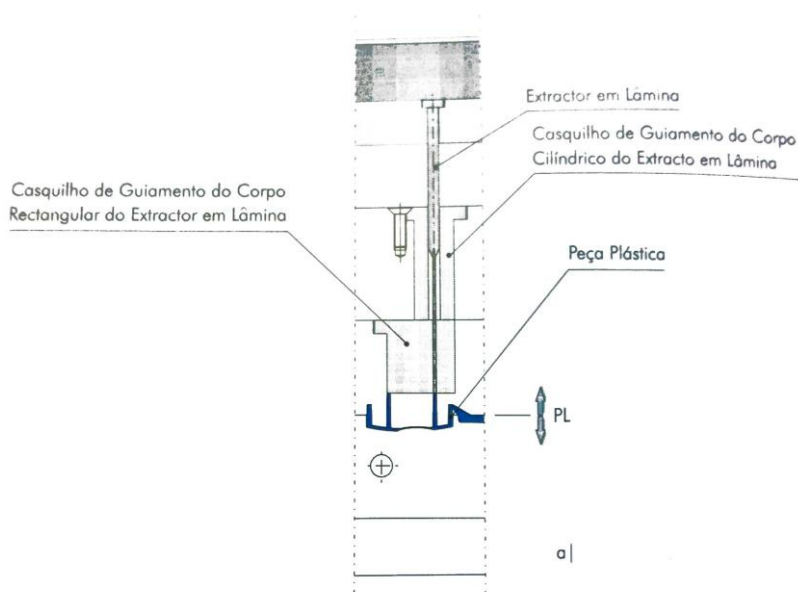


Figura 2.14 Montagem de extratores em lâmina. *Adaptado de [20]*

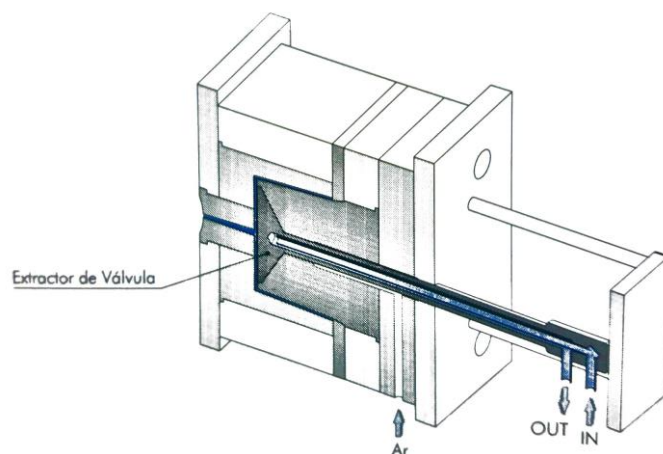


Figura 2.15 Extração combinada. Adaptado de [20]

- **Sistemas de centramento, guiamento e travamento**

O centramento garante que o molde esteja centrado com a máquina de injeção. Uma falha neste sistema pode levar a uma má selagem e a constantes interrupções na injeção. Para resolver este problema, os moldes são equipados com anéis de centragem ou com outros sistemas que promovam o centramento, que dependem da máquina de injeção.

O guiamento é fundamental para o funcionamento de um molde, pois, cada vez que o molde abre, tem de regressar exatamente para a mesma posição em que se encontrava, de modo a iniciar-se um novo ciclo de moldação. O guiamento de um molde é feito através de guias e respectivos casquilhos (Figura 2.16 e Figura 2.17). Para facilitar a montagem e garantir que o molde é sempre corretamente montado, uma das guias é deslocada ou tem um diâmetro diferente das restantes.

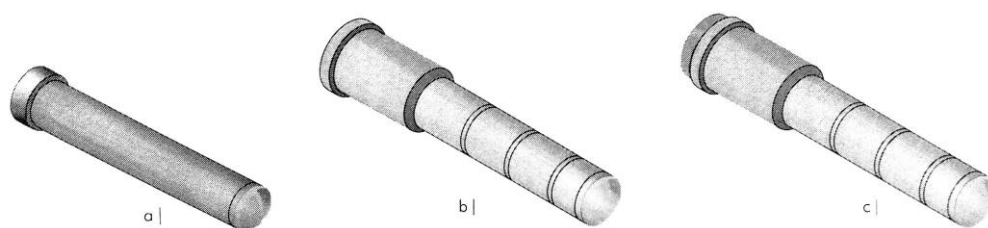


Figura 2.16 Diferentes tipos de guias: a) guia simples; b) guia de corpo espigado; c) guia respigada com cabeça de centragem. Adaptado de [20]

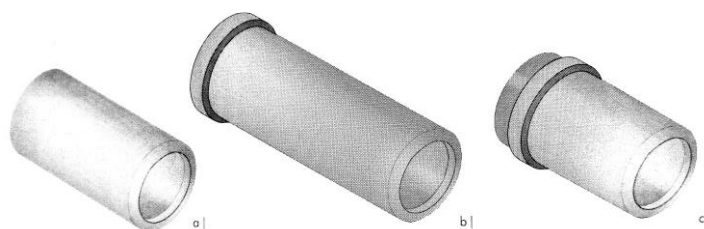


Figura 2.17 Diferentes tipos de casquilhos: a) casquilho simples; b) casquilho rasgado; c) casquilho com cabeça de centragem. Adaptado de [20]

Para um maior rigor de guiamento e proteção das zonas moldantes, existe a necessidade de se conceber sistemas de travamento. O uso de blocos de travamento é muito importante para garantir rigor no guiamento de moldes precisos. Existem, para outros tipos de moldes, outras soluções de travamento (Figura 2.18).

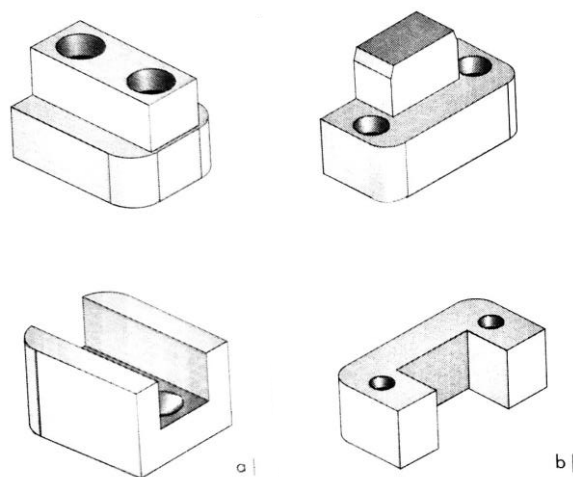


Figura 2.18 Exemplos de blocos de travamento: a) retangular tipo A; b) retangular tipo B.
Adaptado de [20]

2.2.5 Tecnologias assistidas por computador (CAx)

Para a concepção da peça e dos diferentes componentes do molde são utilizadas ferramentas de projeto assistido por computador (CAD). A utilização destas ferramentas permite, não só, a compreensão das ideias do projetista, como também agilizar o processo de maquinagem dos componentes do molde. A informação no ficheiro do projeto deve ser facilmente acessível de forma a ser usada pelos engenheiros, pelos operadores de fabrico e até pelos operadores da injeção.

As ferramentas de engenharia assistida por computador (CAE) são uma importante ferramenta do desenvolvimento de peças plásticas. Na modelação por injeção existem três tipos de simulação comuns, cujos requisitos se encontram especificados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 Requisitos dos vários tipos de análise CAE. *Adaptado de [21]*

Enchimento/Compactação	Arrefecimento	Empeno/Estrutural
<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de material • Condições de injeção/pressurização • Especificações/limitações da máquina de injeção • Desenho preliminar ou final do molde • Modelos 3D das peças 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de fluido refrigerante • Condições de arrefecimento • Desenho preliminar ou final do molde 	<ul style="list-style-type: none"> • Tolerâncias dimensionais da peça

As principais verificações e avaliações que podem ser retiradas dos vários tipos de simulações CAE encontram-se especificadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 Verificações e avaliações retiradas dos vários tipos de análise CAE. Adaptado de [20]

Enchimento/Compactação	Arrefecimento	Empeno/Estrutural
<ul style="list-style-type: none"> • Verificar a adequação da máquina de injeção • Verificar o enchimento com previsão de zonas com prisão de ar • Estimar a qualidade das linhas de soldadura • Selecionar os pontos de injeção adequados • Verificar o balanceamento da injeção em moldes família • Determinar as condições de processamento mais favoráveis • Avaliar a diferença de temperatura das peças • Avaliar a tendência para a degradação do material • Visualizar a orientação do material/fibras • Dimensionar todo o sistema de alimentação do molde • Verificar a eficiência da compactação 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar a temperatura da superfície moldante • Otimizar parâmetros, materiais e disposição dos canais de refrigeração • Estimar o tempo de ciclo 	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliar a distorção das peças • Avaliar o empeno de diferentes versões da peça • Averiguar as principais causas do empeno • Otimizar as condições de processamento de modo a evitar o empeno • Avaliar a resistência mecânica da peça nas condições de serviço

A produção assistida por computador (CAM) consiste na utilização de software no controlo de máquinas-ferramentas na produção de peças. Na indústria de moldes os programas elaborados em *software CAM* são utilizados em máquinas de controlo numérico computadorizado de forma a reduzir tempos de maquinação [21]. A existência de formas complexas, de grande precisão e excelente acabamento, implicam tempos de projeto e fabricação elevados. As técnicas de produção assistida por computador permitem a redução destes tempos. Depois da equipa de projeto obter o modelo digital da peça, as trajetórias de ferramentas são geradas. A sequência das operações geralmente utilizadas na fabricação é apresentada na Figura 2.19.

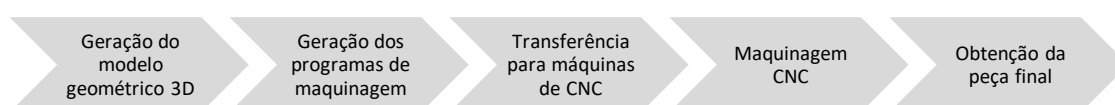


Figura 2.19 Operações principais no processo CAD/CAM. Adaptado de [21]

2.2.6 Aços para moldes

Um aço para poder ser considerado utilizável em moldes para termoplásticos, deve conter atributos relacionados com a peça de plástico a moldar (acabamento, tipo de termoplástico, processo utilizado no fabrico) e com a própria ferramenta moldante (complexidade da execução, temperabilidade, rentabilidade em serviço). As características habitualmente exigidas ao aço para moldes apresentam-se na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 Características exigidas ao aço para moldes. *Adaptado de [20]*

Caraterísticas exigidas no molde	Caraterísticas exigidas nas fases de fabrico do molde
<ul style="list-style-type: none">• Resistência à compressão• Resistência ao impacto• Resistência à tração• Resistência à corrosão• Resistência ao desgaste• Bom polimento• Texturização homogénea	<ul style="list-style-type: none">• Boa maquinabilidade• Adequada temperabilidade• Elevada estabilidade dimensional à tempera e revenido• Aptidão ao polimento• Capacidade de texturação

O responsável pela execução do molde deverá conhecer as características que as peças moldantes devem possuir de forma a serem estabelecidos os requisitos, todas as fases de fabrico a que as peças vão ser submetidas, os processos tecnológicos através dos quais foram elaborados os aços e os efeitos destes nas propriedades do material e o nível de confiança na conformidade dos aços fornecidos.

2.2.7 Testes

Para a validação e finalização do molde é necessário que este passe por uma fase de testes realizados na máquina de injeção. Estes testes visam identificar e corrigir, essencialmente, defeitos na peça, problemas de injeção e de extração. Para a sua correção são ajustadas, pelo operador da máquina de injeção, as variáveis operatórias. Para o projetista estas variáveis são também importantes para a conceção do molde. Designam-se por variáveis operatórias aquelas sobre as quais o operador pode atuar diretamente, ajustando os sistemas de controlo da injetora ou dos dispositivos auxiliares.

As variáveis operatórias mais importantes referem-se às velocidades, nomeadamente velocidade de injeção, de rotação do fuso e de movimentação do sistema de fecho, às temperaturas, particularmente o perfil de temperatura no cilindro e a temperatura do molde, ao tempo de manutenção e de arrefecimento, às pressões de injeção e de manutenção, à contra-pressão, à dosagem, ao curso de descompressão, à almofada e à força de fecho.

Designa-se por **velocidade de injeção**, a velocidade de avanço do fuso durante a fase de enchimento da impressão (em mm/s). Corresponde ao caudal de material injetado (cm^3/s). É necessário o equipamento ter capacidade para desenvolver a pressão necessária, de forma a fazer fluir o material à velocidade pretendida (Figura 2.20). A velocidade de injeção a seleccionar corresponde ao ponto de pressão mais baixo, minimizando as tensões internas da peça, o consumo energético e o desgaste do equipamento. É habitual utilizarem-se diferentes velocidades nas várias subfases da injeção.

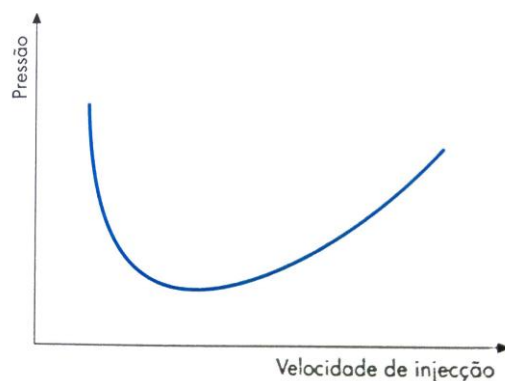


Figura 2.20 Variação da pressão em função da velocidade de injeção. *Adaptado de [20]*

A **velocidade de rotação do fuso** é um parâmetro muito importante para obter um fundido homogéneo durante a plasticização. Velocidades muito elevadas provocam gradientes térmicos importantes ao longo do curso de dosagem.

A importância da **velocidade de movimentação do sistema de fecho** deve-se ao facto de um ajuste típico do sistema de fecho envolver um aumento e diminuição abruptos de velocidade no início e no final do fecho. O resto do fecho é feito a uma velocidade constante. É aplicada uma alta pressão de fecho, de forma a garantir o trancamento, apenas quando o molde estiver praticamente fechado.

Relativamente ao **perfil de temperatura no cilindro**, a temperatura do material ao longo do cilindro de plasticização é função da potência calorífica debitada pelas resistências de aquecimento, e pelo calor gerado por dissipação viscosa, devido ao atrito entre as cadeias moleculares do polímero, assim como entre o polímero e as paredes do parafuso/cilindro. Deve ser função do material a transformar, da geometria do parafuso e do tipo de impressão a encher.

A **temperatura do molde** é um parâmetro fundamental de processamento que determina as propriedades da peça moldada, pois condiciona o desenvolvimento estrutural do polímero durante a fase de arrefecimento. A temperatura do molde está dependente da natureza do material. O ajuste do processo baseia-se em minimizar a amplitude térmica do molde ao longo do tempo de ciclo (Figura 2.21). Por vezes são utilizadas temperaturas diferentes nas duas partes do molde de modo a facilitar a extração ou garantir a estabilidade dimensional das peças.

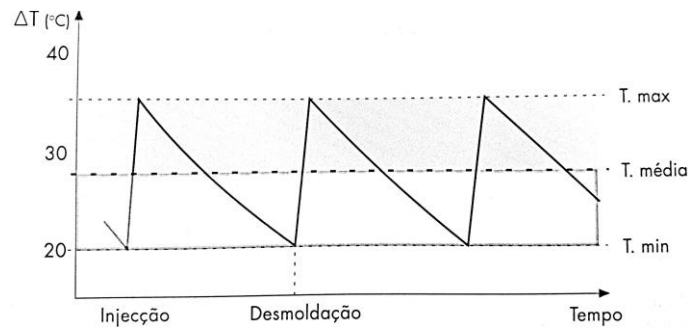


Figura 2.21 Evolução da temperatura média do molde ao longo do ciclo. *Adaptado de [20]*

O **tempo de manutenção** corresponde ao período durante o qual o fuso exerce a pressão de manutenção. A extensão desta fase é determinada pelo momento em que se verifica o arrefecimento do ataque. Pode ser determinado experimentalmente com uma balança de pressão. Uma estimativa teórica é dada por:

$$t = \left(\frac{\delta}{2Y\sqrt{\alpha}} \right)^3$$

Onde:

t é o tempo desde o início do enchimento [s]

δ é a espessura da camada solidificada até ao instante t

α é a difusidade térmica do material

Y é a temperatura adimensional, dada por: $Y = \frac{T_{nf} - T_m}{T_{fund} - T_m}$

T_{nf} é a temperatura de não-fluxo do material

T_m é a temperatura do molde

T_{fund} é a temperatura do fundido

Pode utilizar-se na estimativa $\delta = \frac{H}{2}$, ou seja, o instante em que deixa de ser possível o escoamento na seção em análise, onde H corresponde à espessura total.

Designa-se por **tempo de arrefecimento**, o período após a fase de pressurização, necessário para permitir a adequada extração da moldação. Deve garantir a estabilidade dimensional do molde e permitir suportar os esforços da extração. Pode ser estimado a partir da equação:

$$t_c = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot \alpha_{eff}} \cdot \ln(KY)$$

Onde:

t_c é o tempo de arrefecimento (incluindo o tempo de manutenção) [s]

s é a espessura da parede [mm]

α_{eff} é a difusidade térmica efetiva média [m²/s]

K é o coeficiente dependente da espessura da peça

4/π para peças finas

8/π para peças espessas

Y é a temperatura adimensional, dada por: $Y = \frac{T_{\text{fund}} - T_{\text{int}}}{T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}}$

T_{fund} é a temperatura do fundido

T_{int} é a temperatura da interface

T_{ext} é a temperatura da extração

Designa-se por **pressão de injeção** a pressão máxima que se desenvolve durante a fase de enchimento. Se a pressão máxima da máquina for atingida antes da pressão máxima de injeção de um determinado molde, deixa de existir controlo da velocidade de injeção. A **pressão de manutenção** corresponde à pressão aplicada sobre a moldação após o final do enchimento, com o objetivo de compensar a contração volumétrica que o material sofre. A comutação para a fase de pressurização assegura a mudança para um regime de controlo de pressão, em que o fuso passa a exercer um esforço pré-especificado. Durante esta fase não existe controlo da velocidade de injeção. Na Figura 2.22 podem ser observadas as fases de enchimento e pressurização, onde PW máx é a pressão máxima na cavidade, ti é o tempo de injeção, tv é o tempo de compactação e TN é o tempo da segunda pressão.

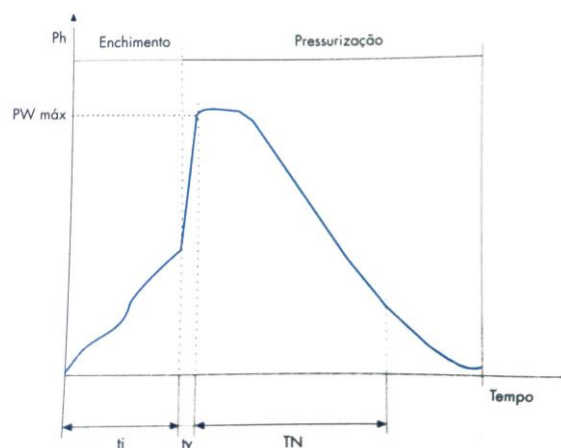


Figura 2.22 Evolução da pressão na cavidade. Adaptado de [20]

A **contra-pressão** corresponde ao esforço que se opõe ao recuo do fuso durante a fase de plasticização. Define a pressão que o fundido tem de desenvolver na ponteira do parafuso, para assegurar o seu recuo.

A **dosagem** é o curso de material plasticizado. Corresponde ao volume da moldação e da almofada. Exprime-se em mm, a partir da posição mais avançada do fuso.

O **curso de descompressão** é o recuo linear do fuso, normalmente após a plasticização. O recuo do fuso acontece de forma a evitar a acumulação de material no bico.

A **almofada** corresponde à quantidade de material remanescente a jusante do fuso de injeção após a fase de pressurização.

Finalmente, designa-se por **força de fecho** o esforço desenvolvido pela unidade de fecho da injetora de forma a manter o molde fechado (expressa em kN ou ton). As máquinas deverão exercer uma força de fecho 10 a 20% superior à requerida. Uma estimativa grosseira é dada por:

$$F_f = (A_p * P_m)/100$$

Onde F_f [kN] é a força de fecho, A_p [cm²] é a área projetada da moldação e P_m [bar] é a pressão média na impressão durante a fase de enchimento (cerca de 1/3 a 1/5 da pressão de injeção).

3 Metodologias

O desenvolvimento integrado de produto e processo é a principal metodologia utilizada. É desta que surgem as restantes metodologias de Projeto para X e de Prototipagem Rápida. São apresentados neste capítulo os princípios fundamentais do DIPP, os benefícios e limitações à sua implementação e é descrito um dos seus pilares fundamentais: as Equipas de Produto Integradas (IPT).

3.1 Desenvolvimento Integrado de Produto e de Processo

O desenvolvimento integrado de produto e de processo (DIPP), ou apenas desenvolvimento integrado de produto (DIP), é uma metodologia de gestão que integra todas as atividades desde a definição dos requisitos, passando pela produção, distribuição, comercialização e apoio ao cliente com o objetivo de otimizar o projeto, a produção e a sustentabilidade. Os principais intervenientes na metodologia de DIPP dividem-se em Equipas de Produto Integradas (IPT).

Para uma implementação eficaz do DIPP é importante compreender os princípios fundamentais inter-relacionados utilizados nesta metodologia, descritos na Tabela 3.1.

O fluxograma da metodologia de desenvolvimento concorrente na indústria dos moldes está ilustrado na Figura 3.1.

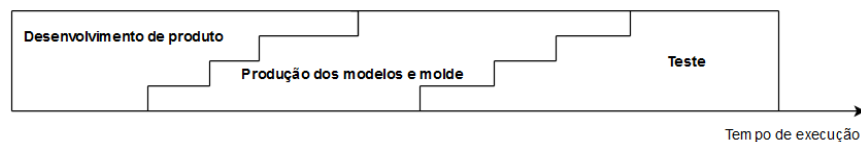


Figura 3.1 Fluxograma de desenvolvimento concorrente de processo e produto no projeto, produção e teste de um molde. *Adaptado de [20]*

Os principais benefícios da aplicação do DIPP são a redução de custos e duração e o aumento da qualidade. É assegurado um melhor compromisso entre o custo, o tempo despendido e o desempenho devido à integração de mais equipas numa fase inicial do projeto. Outros benefícios são, por um lado, a redução de alterações no produto numa fase mais final do projeto, geralmente associadas a maiores custos (Figura 3.2). Por outro lado, a redução de risco, por existir um melhor conhecimento das tecnologias e processos de produção e do seu impacto no custo, desempenho e tempo despendido.

Tabela 3.1 Princípios fundamentais do DIPP. *Adaptado de [25]*

Foco no cliente	A metodologia DIPP é guiada pelas necessidades do consumidor. O cliente é o utilizador operacional do sistema. O cliente, através de membros representativos, deve participar ativamente no processo de desenvolvimento, de forma a definir os requisitos funcionais do produto e/ou processo. Aliado à participação ativa do cliente no projeto podem, ainda, ser utilizadas ferramentas como a <i>Quality Function Deployment (QFD)</i> , de forma a encontrar um equilíbrio entre os requisitos funcionais e as limitações do processo.
Desenvolvimento concorrente de produto e processos	O desenvolvimento concorrente de produto e processo refere-se ao desenvolvimento simultâneo do produto e de todos os processos necessários para o seu fabrico e funcionamento. Estes processos podem influenciar significativamente os custos do produto. O projeto simultâneo dos processos assegura que o projeto do produto não conduza a processos dispendiosos, complicados ou impraticáveis.
Planeamento do ciclo de vida do produto	O planeamento do ciclo de vida do produto deve começar numa fase precoce do projeto e estender-se a todas as fases. As principais atividades devem ser definidas de forma a rastrear o progresso e a perceber o impacto das alterações no produto.
Aplicação de metodologias robustas de projeto e melhoria da capacidade produtiva	Devem ser utilizadas técnicas de projeto e manufatura que: <ol style="list-style-type: none"> 1. Sejam capazes de projetar produtos com poucas variações no processo de manufatura; 2. Sejam centradas na capacidade do processo; 3. Promovam a melhoria contínua do processo.
Agendamento <i>event-driven</i>	O agendamento deve ser realizado de forma a relacionar a programação dos eventos com as conquistas alcançadas. Um evento apenas está completo quando todas as conquistas relacionadas foram alcançadas.
Trabalho multidisciplinar de equipa	O trabalho multidisciplinar de equipa é essencial no desenvolvimento integrado e concorrente de um produto e processos. Cada membro da equipa precisa de compreender a sua função, a função dos outros membros da sua equipa, e os objetivos da equipa.
Autonomia	A tomada de decisão deve ser atribuída ao menor nível possível da cadeia de equipas de acordo com o risco. Deve ser dada a cada uma das equipas a autoridade, responsabilidade e recursos para gerir o seu trabalho, de acordo com a sua competência. A autoridade de cada um dos membros de uma equipa deve ser compreendida por todos.
Ferramentas de gestão integrada	Deve ser estabelecido um enquadramento que relacione os produtos e os processos em todos os níveis e evidencie as dependências e relações. A gestão deve ser feita de forma a relacionar os requisitos funcionais, planeamento, gestão dos recursos, execução e acompanhamento do programa ao longo de todo o ciclo de vida do produto.
Identificação e gestão do risco	O custo máximo, o agendamento e os parâmetros técnicos relacionados com as características do sistema devem ser identificados a partir da análise de risco e das especificações técnicas do cliente. Para tal devem ser utilizadas métricas apropriadas para perceber o desempenho do sistema.

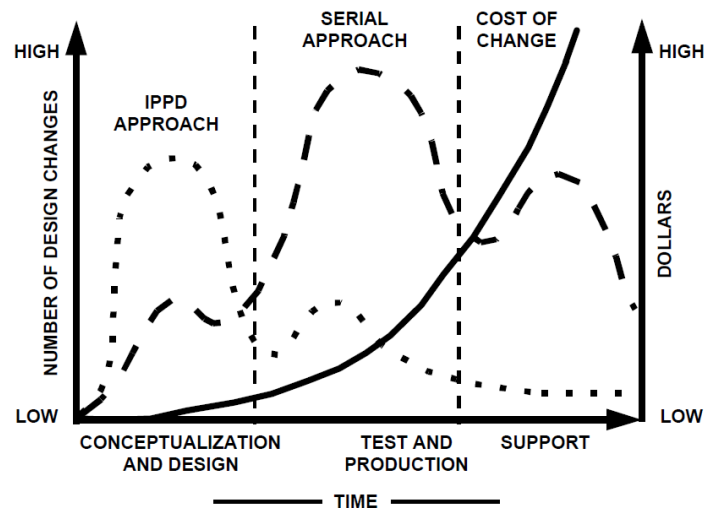


Figura 3.2 Abordagem DIPP (*IPDD approach*) versus abordagem em série (*serial approach*).
Adaptado de [25]

Após a análise dos benefícios da implementação do DIPP, é importante estar ciente das limitações à sua implementação. Apenas identificando os problemas, analisando a causa e procurando soluções, é possível melhorar a metodologia utilizada. É importante, também, compreender que as limitações à implementação não inviabilizam a utilização do DIPP, no entanto tornam-no menos eficaz. As principais limitações à implementação são:

- Falta de compromisso da administração;
- Exigência de mudança cultural;
- Integração incompleta da organização funcional no DIPP;
- Falta de planejamento;
- Treino/Formação insuficiente;
- Lições aprendidas e falta de registo de boas práticas;
- Falta de credibilidade nas informações;
- Pouco critério na atribuição de compensações;
- Demasiadas revisões.

3.2 Equipa de Produto Integrada

Uma Equipa de Produto Integrada (*IPT*) é uma equipa multidisciplinar responsável pelo fornecimento de um determinado produto ou processo. As *IPT's* são o pilar do DIPP. A *IPT* é responsável por organizar e realizar tarefas de aquisição de bens e serviços. Todos aqueles que participam no desenvolvimento de produto e processo pertencem a equipas, desde o cliente até aos fornecedores. Todas as equipas devem ser representadas por um líder de equipa.

De forma a existir coordenação entre equipas são agendadas reuniões entre os líderes de equipa. Os temas das reuniões devem ser planeados pelos líderes de equipa em coordenação com os restantes elementos das respetivas equipas. É, ainda, necessário que dois elementos tenham as tarefas de: redator de ata, para apontar os destaques e outros pontos de discussão, e

moderador, para conduzir a reunião, evitar a dispersão do foco e garantir que as técnicas de DIPP estão a ser utilizadas.

Uma das características mais importantes das *IPT* é a formação contínua dos membros da equipa. A formação, quando realizada numa altura adequada, pode conduzir a melhores resultados. Apesar de resultar em tempo despendido pelos membros da equipa, leva a uma maior rapidez na resolução de problemas.

3.3 Ferramentas do DIPP

De forma a garantir a eficácia do DIPP são utilizados métodos e tecnologias de última geração no planeamento, gestão, projeto, análise de custos, modelação e simulação. Algumas das principais ferramentas do DIPP são seguidamente apresentadas.

- **Quality Function Deployment (QFD)**

A ferramenta *Quality Function Deployment* é um método eficiente e eficaz de encaixar nos requisitos do consumidor. A aplicação desta metodologia começa por encontrar as características exigidas pelo consumidor, identificar como podem ser alcançadas e identificar os métodos, dentro dos recursos disponíveis, capazes de satisfazê-las.

- **Tecnologias de informação**

Um sistema de informação integrado é outra das principais ferramentas da metodologia de DIPP. No DIPP, a informação é transmitida num sistema integrado de informação informático, de forma a todas as *IPT*'s e todos os intervenientes terem acesso em tempo real às informações técnicas e de negócio. Os principais problemas de um sistema deste tipo são a segurança informática e a compatibilidade entre os diferentes softwares.

- **Métricas**

As métricas são uma ferramenta de gestão e avaliação da eficácia do projeto. Permitem compreender se os objetivos foram, ou não, alcançados e aumentar a satisfação do cliente. O DIPP foca-se na definição de processos e *checkpoints*, pois só desta forma é possível determinar o progresso realizado. Sendo assim, as métricas permitem compreender os efeitos da implementação do DIPP. São utilizadas essencialmente para avaliar custos, tempo despendido e desempenho. Métricas de *output* são preferíveis a métricas de *input*. As métricas são utilizadas em todas as fases da metodologia. Os três tipos de métricas mais comuns são de progresso, de produto e de processo. As métricas de progresso são utilizadas para monitorizar o estado do DIPP. Servem como alarmes para eventos adversos. Devem permitir tempo para a correção de tais eventos. As métricas de produto estão ligadas ao desempenho do produto. As métricas deste tipo indicam às equipas se as características técnicas de desempenho são exequíveis. As métricas de processo permitem avaliar a qualidade e a produtividade dos processos envolvidos. De forma a melhorar um processo, este deve ser compreendido e analisado. A análise dos dados deve ser

capaz de prever a qualidade em fases finais do processo. Métricas de processo comparam o desempenho atual com o desempenho previsto. Se o desempenho previsto não for atingido deve perceber-se porquê.

A escolha ou criação de métricas não é um processo aleatório. Atribuí-las envolve conhecimento dos requisitos do utilizador e dos processos. Os passos fundamentais para a escolha de métricas são descritos de seguida:

- Identificar o propósito da métrica;
- Definir o que deve ser medido;
- Identificar e analisar as métricas existentes;
- Criar métricas, se as atuais forem inadequadas;
- Classificar as métricas, de acordo com os requisitos de uma boa métrica;
- Selecionar as ferramentas de medição adequadas;
- Parametrizar a métrica;
- Recolher e analisar os dados da métrica ao longo do tempo;
- Iniciar a melhoria do processo.

3.4 Projeto para X

As metodologias de Projeto para X (DFx) são uma das ferramentas mais utilizadas do DIPP. Quando uma determinada peça é fácil de produzir, o resultado é um produto com a qualidade necessária e com um custo menor. As metodologias de Projeto para X baseiam-se no uso do conhecimento dos processos para a melhoria do projeto de peças, conjuntos e produtos. As variadas metodologias de Projeto para X foram desenvolvidas de forma a garantirem diretrizes no projeto. A extensão desta lista inviabiliza a referência a todas as existentes. Nesta dissertação as seguintes metodologias foram utilizadas:

- **Projeto para a fabricação**

Para o fabrico de peças plásticas pode ser necessária a alteração de algumas das suas características, de acordo com as limitações do processo de injeção plástica. No Anexo 4 é apresentada uma lista de verificação a ter em consideração no projeto de peças para a injeção de plásticos. Além das considerações acerca da alimentação, fuga de gases, controlo de temperatura e extração, é necessário ter, ainda, em consideração:

- **Ângulos de saída:** de forma a garantir uma força de extração menor é necessário um aumento do ângulo de saída. Deve ser tido em consideração que diferentes ângulos de saída podem melhorar ou piorar consideravelmente a força de extração de uma peça. Os ângulos de saída estão dependentes do coeficiente de atrito entre o material do molde e o material a moldar. De um modo geral, peças produzidas com materiais mais rígidos e/ou que contraem mais, requerem ângulos de saída maiores. Para a definição do ângulo de saída são, frequentemente, consultadas tabelas que associam o ângulo ao material a injetar.

- **Linhas de soldadura:** As linhas de soldadura são formadas durante o processo de enchimento do molde, quando a frente do fundido se separa e volta a juntar-se noutra localização da peça (Figura 3.3). A separação pode ser causada, por exemplo, por castelos ou por dimensões de paredes variáveis. A força mecânica na área da soldadura pode ser significativamente mais pequena do que a força em zonas distantes da soldadura. A localização das linhas de soldadura pode ser importante para o funcionamento de uma determinada peça. A força da soldadura está dependente do material, da peça, do molde e das condições de processamento.

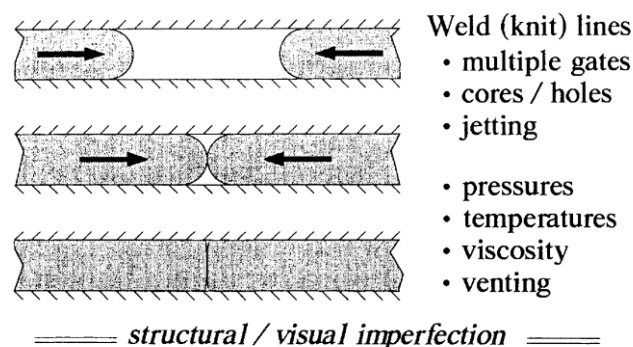


Figura 3.3 Linhas de soldadura. Adaptado de [19]

- **Contração e empeno:** o processo de moldação de termoplásticos é geralmente utilizado para o fabrico de peças que requerem pequenas tolerâncias dimensionais. Partes plásticas que necessitem de montagem com outras peças plásticas devem ser moldadas com tolerâncias dimensionais que o permitam. Bastantes materiais termoplásticos apresentam contração elevada no molde, podendo ser anisotrópica. A sua correção não poderá ocorrer apenas com a aplicação de uma função de escala na modelação da peça. A contração anisotrópica pode levar a empenos ou a tensões internas nas peças, podendo ser influenciada pelo material, pela geometria da peça, pela estrutura do molde e pelas condições de processamento

A especificação de tolerâncias dimensionais de peças plásticas moldadas por injeção tem obrigatoriamente de considerar a natureza do material termoplástico a moldar. As tolerâncias são especificadas, segundo a norma DIN 16901, tendo em conta se as dimensões estão, ou não, relacionadas com o molde. As dimensões relacionadas com o molde são aquelas determinadas pela bucha e/ou cavidade. As dimensões não relacionadas com o molde são aquelas determinadas pela interação de elementos móveis.

• Projeto para a normalização

A normalização estabelece a solução definitiva para um problema técnico ou organizacional que ocorre de forma repetitiva, através dos melhores meios técnicos disponíveis. É uma forma de otimização técnica e económica limitada pelo tempo disponível.

Existem diferentes tipos de normas, classificadas com base em diferentes critérios. Uma das classificações mais comuns baseia-se na origem das normas (Figura 3.4). Normas internacionais têm, geralmente, um desenvolvimento mais demorado, mas são aplicáveis durante

um maior período. No entanto, a variedade e abrangência deste tipo de normas é, normalmente, menor.

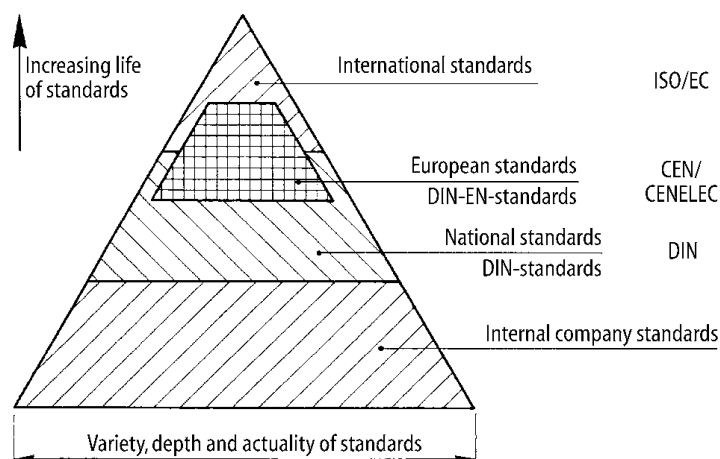


Figura 3.4 Relação entre as normas da empresa, nacionais, europeias e internacionais.
Adaptado de [26]

Embora não existam normas definitivamente obrigatórias, as normas nacionais e internacionais são geralmente consideradas como regulamentos. A adesão a estas pode tornar-se vantajosa no caso de ações legais. Este facto torna-se especialmente importante na existência de normas de segurança. A utilização de normas deve ser examinada em relação à listagem da Tabela 3.2. [26]

3.5 Modelação e simulação

As tecnologias de modelação (CAD) e simulação (CAE) podem ser utilizadas como métodos eficazes na redução do tempo despendido, recursos, riscos e no aumento da qualidade dos produtos. Permitem, perceber numa fase inicial do projeto, a viabilidade e os custos do mesmo.

A modelação e simulação devem ser utilizadas nas seguintes fases do DIPP:

- Definição das especificações técnicas
- Gestão do programa
- Projeto e engenharia
- Previsão de resultados
- Apoio à manufatura e logística

Tabela 3.2 Listagem para a realização do projeto. *Adaptado de [26]*

Título	Exemplo
<i>Função</i>	A função é cumprida?
<i>Princípio de funcionamento</i>	Os princípios de funcionamento escolhidos produzem os efeitos desejados?
<i>Layout</i>	O <i>layout</i> escolhido, a geometria dos componentes, os materiais e as dimensões escolhidas proporcionam/são: Durabilidade adequada? Deformação adequada? Estabilidade adequada? Livres de ressonância? etc.
<i>Segurança</i>	Foram considerados todos os fatores de segurança?
<i>Ergonomia</i>	Foi considerada a relação com o utilizador? Foram consideradas possíveis lesões causadas no utilizador?
<i>Produção</i>	Foi feita uma análise tecnológica e económica dos processos de produção?
<i>Controlo de qualidade</i>	As verificações necessárias foram especificadas e podem ser aplicadas?
<i>Montagem</i>	Os componentes podem ser montados de forma simples e na ordem correta?
<i>Transporte</i>	Foram considerados os riscos associados ao transporte?
<i>Funcionamento</i>	Foram considerados todos os fatores que influenciam o funcionamento?
<i>Manutenção</i>	A manutenção e a inspeção podem ser realizadas fácil e sistematicamente?
<i>Reciclagem</i>	O produto pode ser reutilizado ou reciclado?
<i>Custos</i>	Observaram-se os limites de custos estipulados? Haverá custos secundários?
<i>Prazos</i>	Podem os prazos de entrega ser cumpridos? Há alguma modificação que melhore a entrega?

3.6 Prototipagem

Os protótipos podem fornecer uma representação do produto em desenvolvimento. Tornam-se especialmente importantes quando existe contacto com o utilizador. Facilitam a comunicação entre os projetistas e os utilizadores pois permitem descrever de forma concisa as necessidades. Existe, no DIPP, uma necessidade de desenvolver protótipos numa fase inicial do projeto, por permitirem um melhor conhecimento do produto, reduzindo os custos das alterações, como visto anteriormente. No entanto, é necessário limitar o número de protótipos produzidos, pois podem aumentar os custos do produto e o tempo despendido no desenvolvimento.

De entre os vários métodos de prototipagem utilizados são de grande relevância para a indústria dos moldes e da injeção plástica os métodos de prototipagem rápida. O *Fused Deposition Modelling* (FDM ou FFF) é um desses métodos. No FDM o material polimérico em filamento é fundido e depositado camada sobre camada. O filamento passa no interior de um injetor aquecido a uma determinada temperatura. O material é forçado a avançar no bico, aquecendo até fundir. De seguida, é injetado através do orifício da cabeça de injeção e, depois, depositado sobre o prato da impressora ou sobre a camada anterior. No FDM, o filamento sólido é extrudido num estado semi fundido e solidifica na superfície a uma temperatura inferior à de transição vítrea. A temperatura desce abruptamente desde a temperatura de fusão até à temperatura de transição vítrea, levando a uma contração volumétrica, a uma ligação fraca entre camadas e a porosidade na estrutura. As desvantagens deste tipo de impressão 3D são o acabamento superficial e a demorada duração do processo. Na Figura 3.5 apresentam-se as diferentes fases do projeto.

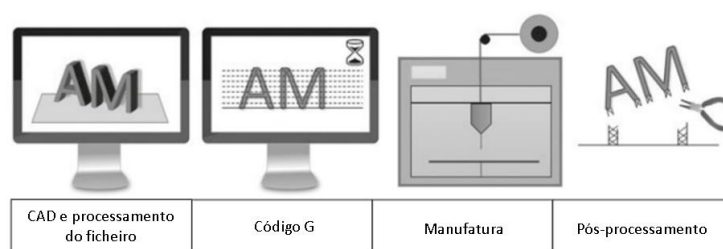


Figura 3.5 Fases comuns do projeto e manufatura de peças através de impressão 3D

4 Caso de estudo

Sendo o principal objetivo desta dissertação o desenvolvimento do produto e processo respeitantes ao equipamento de proteção individual ocular para uso hospitalar, propõe-se uma metodologia DIPP com principal foco no projeto para manufatura e montagem (*DFMA*) e no projeto para a normalização e respetiva certificação do EPI ocular. A aposição da marcação *CE* é obrigatória para a comercialização deste produto no espaço económico europeu. Inclui-se a restante metodologia de DIPP de forma a enquadrar esta metodologia na organização de uma empresa de moldes e de injeção plástica.

São apresentados neste capítulo:

- O funcionamento do DIPP e das *IPT's* na empresa e as alterações provocadas pelo desenvolvimento de produto.
- O projeto do equipamento de proteção individual, seguindo a regulamentação e normas europeias, os constrangimentos do processo de injeção termoplástica e a metodologia de prototipagem utilizada.
- O projeto do molde, em particular as fases de modelação e simulação.

4.1 DIPP e *IPT's*

A caracterização de todas as *IPT's* e dos procedimentos de DIPP utilizados por cada uma destas equipas é um processo moroso, que não se enquadra no âmbito desta dissertação. Optou-se por incluir neste e no próximo capítulo os princípios fundamentais utilizados na *IPT* de projeto de produto e processo e de injeção. No entanto são, por vezes, referidas outras *IPT's* de acordo com o seu contributo para o sucesso desta equipa. Estando definidas na empresa várias *IPT* para o desenvolvimento de moldes, foi necessário modificar as funções de cada uma das equipas e acrescentar as restantes partes interessadas.

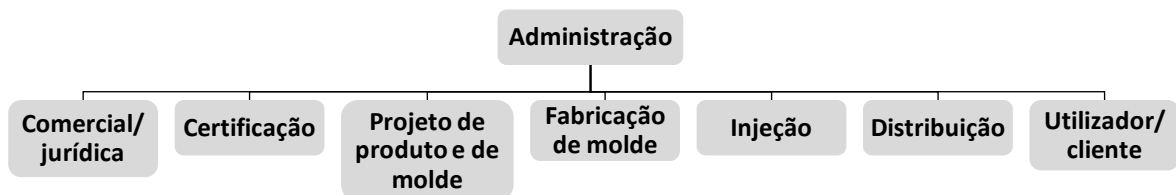


Figura 4.1 Organograma das *IPT's*

As principais alterações organizacionais identificadas foram:

- A equipa de projeto de molde ficou encarregue do projeto e modelação do produto.
- A equipa comercial/jurídica ficou com as tarefas de pesquisa das normas, regulamentos e leis em vigor para EPI's e da comercialização do produto,

acrescentando à vertente de comércio *B2B*, uma vertente *Business to Consumer (B2C)*.

O trabalho executado ao longo desta dissertação realizou-se, essencialmente, nas equipas de projeto de produto e de molde e na equipa jurídica.

4.2 Projeto do equipamento de proteção individual ocular

Para um correto projeto do EPI ocular, foi necessário adaptar os requisitos exigidos pelos profissionais de saúde, com a legislação em vigor para o fabrico de EPI's.

Para a identificação das necessidades dos profissionais de saúde, foram consultados profissionais de saúde do Hospital Garcia de Orta e do Hospital de Santa Maria. As principais necessidades identificadas foram:

- Permitir a utilização conjunta com óculos de correção.
- Garantir sempre uma visibilidade adequada.
- Garantir conforto.
- Conferir a melhor proteção possível a gotículas.
- Garantir uma colocação e remoção prática.

São ainda definidas pela Organização Mundial de Saúde (OMS) as diretrizes com as especificações técnicas para óculos de proteção individual [27]:

- Boa vedação com a pele facial;
- Armação flexível capaz de cobrir facilmente os contornos faciais com pressão uniforme;
- Cobrir os olhos e as áreas envolventes;
- Permitir a utilização simultânea de óculos de correção;
- Lente plástica com boas propriedades óticas com tratamentos anti embaciamento e anti risco;
- Banda flexível e ajustável, que não se desregule involuntariamente durante a prática clínica;
- Ventilação indireta para evitar embaciamento;
- Reutilizável ou descartável.

As recomendações da comissão europeia para fabricantes de produtos que necessitem da aposição de marcação *CE* são as seguintes [28]:

1. Identificar as diretrizes e as normas harmonizadas.
2. Verificar os requisitos específicos do produto.
3. Identificar se é necessária uma avaliação de conformidade (por um organismo notificado).
4. Testar o produto e averiguar a conformidade.
5. Elaborar e manter disponível a documentação técnica necessária.
6. Apor a marcação *CE* e elaborar a declaração de conformidade UE

A marcação *CE* aposta num EPI prova a sua conformidade com a legislação europeia em vigor. Em condições normais, é obrigatória para a comercialização de um EPI. A legislação em vigor relativa aos EPI's remete para o Regulamento (UE) 2016/425 do Parlamento Europeu e do Conselho [29]. De acordo com o Artigo 3º desse mesmo regulamento definem-se como Equipamentos de Proteção Individual (EPI) aqueles que forem concebidos e fabricados para serem envergados ou manejados por uma pessoa para sua proteção contra um ou mais riscos para a sua saúde ou segurança. Conforme o Artigo 18º do mesmo regulamento, os EPI's são classificados de acordo com as categorias de risco definidas no Anexo I. Estas são:

A **categoria I** inclui exclusivamente os seguintes riscos mínimos:

- a) Lesões mecânicas superficiais;
- b) Contacto com produtos de limpeza de baixa agressividade ou contacto prolongado com água;
- c) Contacto com superfícies quentes de temperatura não superior a 50 °C;
- d) Lesões oculares devido à exposição à luz solar (exceto durante a observação do sol);
- e) Condições atmosféricas não extremas.

A **categoria II** inclui riscos diferentes dos riscos descritos nas categorias I e III.

A **categoria III** inclui exclusivamente os riscos, que podem ter consequências muito graves, como a morte ou danos irreversíveis para a saúde, relacionados com:

- a) Substâncias e misturas perigosas para a saúde;
- b) Atmosferas com falta de oxigénio;
- c) Agentes biológicos nocivos;
- d) Radiações ionizantes;
- e) Ambientes quentes, cujos efeitos sejam comparáveis aos de uma temperatura do ar igual ou superior a 100 °C;
- f) Ambientes frios, cujos efeitos sejam comparáveis aos de uma temperatura do ar igual ou inferior a – 50 °C;
- g) Queda de altura;
- h) Choque elétrico e trabalhos sob tensão;
- i) Afogamento;
- j) Cortes por motosserras manuais;
- k) Jatos de alta pressão;
- l) Ferimentos por bala ou arma branca;
- m) Ruídos prejudiciais.

Os óculos de proteção são identificados, normalmente, como categoria II, por não se incluírem nos riscos exclusivos da categoria I ou III. A proteção conferida contra agentes biológicos nocivos, como no caso da *COVID-19*, é associada à categoria III.

Os procedimentos de avaliação de conformidade a seguir para cada uma das categorias de risco são descritos no Artigo 19º. Para a categoria II é necessário um Exame UE de tipo (módulo B)

previsto no Anexo V, seguido de conformidade com o tipo baseada no controlo interno da produção (módulo C) previsto no Anexo VII. Para a categoria III, é necessário, além dos procedimentos referidos referentes à categoria II, a conformidade com o tipo baseada no controlo interno da produção e controlos supervisionados do produto a intervalos aleatórios (módulo C2) previsto no anexo VII, ou a conformidade com o tipo baseada na garantia da qualidade do processo de produção (módulo D) previsto no anexo VIII. A certificação como categoria III é um processo mais moroso e dispendioso.

O Exame UE de tipo (Módulo B) é a parte do procedimento de avaliação da conformidade na qual um organismo notificado examina a conceção técnica dos EPI e verifica e atesta que a conceção técnica dos EPI satisfaz os requisitos do presente regulamento que lhe são aplicáveis. A lista de organismos notificados para a execução da avaliação de conformidade (segundo o Regulamento UE 2016/425) está disponível online na plataforma *NANDO (New Approach Notified and Designated Organisations)* [30]. Para a realização deste exame é necessário o fabricante elaborar a documentação técnica prevista no Anexo III, que deve conter:

- a) Uma descrição completa dos EPI's e da utilização a que se destinam;
- b) Uma avaliação dos riscos contra os quais os EPI's se destinam a oferecer proteção;
- c) Uma lista dos requisitos essenciais de saúde e segurança aplicáveis aos EPI's;
- d) Desenhos e esquemas de conceção e fabrico dos EPI's e dos seus componentes, subconjuntos e circuitos;
- e) As descrições e explicações necessárias para a compreensão dos desenhos e esquemas referidos na alínea d) e do funcionamento dos EPI's;
- f) As referências das normas que foram aplicadas para a conceção e para o fabrico dos EPI's. Caso as normas harmonizadas tenham sido aplicadas parcialmente, a documentação deve especificar as partes que foram aplicadas;
- g) Caso as normas harmonizadas não tenham sido aplicadas (ou tenham sido aplicadas parcialmente) as descrições das outras especificações técnicas que foram aplicadas a fim de satisfazer os requisitos essenciais de saúde e segurança aplicáveis;
- h) Os resultados dos cálculos de conceção, das inspeções e dos exames efetuados, a fim de verificar a conformidade dos EPI's com os requisitos essenciais de saúde e segurança aplicáveis;
- i) Relatórios sobre os ensaios efetuados para verificar a conformidade dos EPI's com os requisitos essenciais de saúde e segurança aplicáveis;
- j) Uma descrição dos meios utilizados durante a produção dos EPI's para assegurar a conformidade dos EPI's fabricados com as especificações de conceção;
- k) Uma cópia das instruções e informações do fabricante
- l) Para os EPI's fabricados como uma unidade única à medida de um determinado utilizador, todas as instruções necessárias para o seu fabrico, com base no modelo de base aprovado;
- m) Para os EPI's fabricados em série, em que cada exemplar é adaptado à medida de um determinado utilizador, uma descrição das medidas a tomar pelo fabricante durante a

instalação e o processo de fabrico para garantir que cada exemplar de EPI esteja em conformidade com o tipo aprovado e com os requisitos essenciais de saúde e segurança.

Os testes executados pelos organismos notificados garantem a conformidade do artigo com as normas harmonizadas (ou com parte destas) e com os requisitos essenciais de saúde e segurança previstos no Anexo II, abrangidos pelas normas ou por parte destas.

De acordo com este anexo, os requisitos gerais aplicáveis a todos os EPI são:

- Ergonomia
- Níveis e classes de proteção adequados
- Inocuidade
- Conforto e eficácia
- Instruções e informações do fabricante

Para o caso dos óculos de proteção são, ainda, referidos no mesmo anexo, alguns requisitos suplementares:

- Quando os EPI's dispuserem de sistemas de regulação, estes devem ser concebidos e fabricados de tal modo que, após terem sido ajustados, não se possam desregular involuntariamente, nas condições previsíveis de utilização. *(Ponto 2.1 Anexo II)*
- Os EPI's devem ser concebidos e fabricados de modo a minimizarem a transpiração resultante da sua utilização. Caso contrário devem ser equipados com dispositivos que permitam absorver a transpiração. *(Ponto 2.2 Anexo II)*
- Os EPI's devem restringir o mínimo possível a cara, os olhos, o campo de visão ou as vias respiratórias do utilizador. Os visores para esses tipos de EPI's devem possuir um grau de neutralidade ótica compatível com o grau de precisão e a duração das atividades do utilizador. Quando necessário, esses EPI's devem ser tratados ou dotados de meios que evitem o embaciamento. Os modelos de EPI's destinados aos utilizadores que precisem de correção ocular devem ser compatíveis com a utilização de óculos ou lentes de contacto. *(Ponto 2.3 Anexo II)*
- Se houver conhecimento de que o desempenho esperado dos EPI's em estado novo pode ser afetado significativamente por um fenómeno de envelhecimento, o mês e o ano de fabrico e/ou, se possível, o mês e o ano de validade devem ser indicados de forma indelével e sem ambiguidade em cada exemplar de EPI's colocado no mercado, bem como na sua embalagem. Se o fabricante não se puder comprometer relativamente ao tempo de vida útil dos EPI's, deve mencionar nas suas instruções todas as informações necessárias que permitam ao comprador ou ao utilizador determinar um mês e ano de validade razoáveis, tendo em conta o nível de qualidade do modelo e as condições reais de armazenamento, utilização, limpeza, revisão e manutenção. No caso de se considerar que do envelhecimento imputável à utilização periódica de um processo de limpeza preconizado pelo fabricante resultará uma alteração rápida e sensível do comportamento dos EPI's, o fabricante deve apor, se

possível, a cada exemplar de EPI's colocado no mercado uma marcação que indique o número máximo de limpezas acima do qual é necessário proceder à inspeção ou à substituição do equipamento. Caso tal marcação não seja aposta, o fabricante deve mencionar esse dado nas suas instruções. (*Ponto 2.4 Anexo II*)

No caso do EPI garantir proteção contra agentes biológicos nocivos é necessário ter, ainda, em consideração o ponto 3.10.2.

De acordo com o anexo VI para a conformidade com o tipo baseada no controlo interno da produção, o fabricante tem de:

- Garantir a conformidade de cada modelo de EPI com o tipo descrito no certificado de exame UE de tipo.
- Tomar todas as medidas necessárias para que o processo de fabrico e o respetivo controlo garantam a conformidade dos EPI's fabricados com o descrito no exame UE de tipo.
- Elaborar uma declaração UE de conformidade escrita para cada modelo de EPI e mantê-la à disposição das autoridades nacionais durante 10 anos após a data de colocação do EPI no mercado.

A declaração de conformidade que o fabricante deve redigir para a comercialização de um EPI no Espaço Económico Europeu encontra-se no Anexo 2.

Foi ainda emitida no Jornal Oficial da União Europeia, uma Comunicação da Comissão no âmbito da execução do Regulamento (UE) 2016/425 do Parlamento Europeu e do Conselho relativo aos equipamentos de proteção individual [31]. Nesta comunicação são publicados os títulos e normas harmonizadas ao abrigo da legislação de harmonização da União. Para a proteção individual dos olhos é referida a norma EN 166:2001 [32].

Devido ao surto provocado pelo vírus SARS-CoV-2, muitas das normas relativas a este tipo de produtos foram disponibilizadas de forma gratuita, nos vários estados-membro da UE. A EN166 fez parte do grupo de normas disponibilizados gratuitamente.

O ponto 4.1 da norma EN166 define como função de um protetor ocular fornecer proteção contra: impactos, radiações óticas, metais fundidos e sólidos quentes, gotas e salpicos, pó, gases, arco elétrico de curto circuito, ou alguma combinação destas. A função do protetor ocular desenvolvido irá ser a proteção contra gotas e salpicos.

Seguindo a sequência da norma, de seguida, são definidos os tipos de protetor oculares (ponto 4.2). Para a sua correta definição foi consultada a norma ISO 4007:2018, que revoga a norma EN165, relativa ao vocabulário de protetores individuais oculares. De acordo com esta, *goggles* é um protetor ocular que rodeia a zona orbitária e que se ajusta firmemente à cara. *Spectacles* são outro tipo de protetor ocular que é suportado essencialmente no nariz e orelhas, podendo, ou não, conferir proteção lateral (Figura 4.2). O protetor ocular desenvolvido enquadra-se na primeira categoria. De referir ainda que, de acordo com o ponto 8.3 norma EN166, são especificadas as aplicações dos diferentes tipos de protetor ocular. De acordo com a tabela 12 da EN166 a utilização

de *spectacles* para a proteção contra gotas ou salpicos é proibida. Os *goggles* podem conferir proteção contra gotas, não podendo conferir proteção a salpicos.



Figura 4.2 *Goggles* (em cima) e *spectacles* (em baixo). Adaptado de [33]

Os tipos de oculares são definidos no ponto 4.3. As lentes em plástico enquadram-se nas oculares orgânicas (ponto 4.3.2).

No ponto 6 são definidos os requisitos de projeto e fabricação:

- Os protetores oculares não devem ter saliências, arestas afiadas ou outros defeitos que possam causar desconforto ou ferimentos durante a sua utilização (6.1)
- Os materiais que estão em contacto com a pele não podem ser reconhecidos, cientificamente, por causar irritação cutânea. (6.2)
- A fita elástica, quando utilizada como principal meio para prender o protetor ocular à cara, deve ter, pelo menos, 10 mm de largura em qualquer zona que esteja em contacto com a cabeça do utilizador. Deve ser ajustável ou autoajustável. (6.3)

No ponto 7 são definidos os requisitos básicos, particulares e opcionais. Todos os protetores oculares devem reunir os requisitos básicos. Estes são, para o caso do protetor ocular desenvolvido:

- Campo de visão
- Requisitos óticos
- Qualidade do material e da superfície
- Robustez
- Resistência ao envelhecimento
- Resistência à corrosão
- Resistência à ignição

De acordo com as recomendações da OMS a lente do protetor ocular deve ser sujeita a tratamentos anti embaciamento e anti risco. A aplicação destes dois tratamentos levaria à instalação de máquinas ou à subcontratação de uma empresa com capacidade para tal, elevando o preço do produto e aumentando o tempo até à sua comercialização e utilização. Optou-se, de forma evitar o embaciamento das lentes e a projeção por gravidade de gotículas, o projeto de entradas laterais de

ar de ambos os lados (Figura 4.3). O protetor ocular será para uso básico, com entradas diretas de ar.

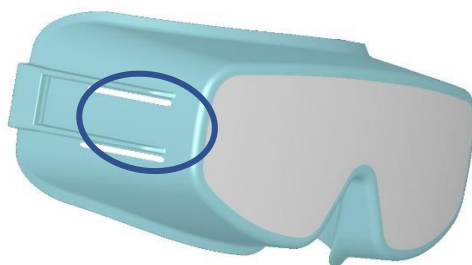


Figura 4.3 Entradas laterais de ar (a azul)

A identificação dos testes necessários para a averiguação dos requisitos de protetores oculares é apresentada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Identificação dos requisitos e dos testes correspondentes

Requisitos	EN166 (cláusula)	Testes (cláusula/norma)
Construção e materiais	6.1 e 6.2	Inspeção visual e documentação do fabricante
Fita elástica	6.3	Medição
Campo de visão	7.1.1	18/EN168 [34]
Poderes refrativos esférico, astigmático e prismático	7.1.2.1.2	3.2/EN167 [35]
Transmitância	7.1.2.2.1	6/EN167
Difusão de luz	7.1.2.3	4/EN167
Qualidade do material e da superfície	7.1.3	5/EN167
Robustez	7.1.4.2.2	3.2/EN168
Estabilidade a temperatura elevada	7.1.5.1	5/EN168
Resistência a radiação ultravioleta	7.1.5.2	6/EN168
Resistência à corrosão	7.1.6	8/EN168
Resistência à ignição	7.1.7	7/EN168
Proteção lateral	7.2.8	19/EN168
Marcação	9	Inspeção visual
Informação	10	Inspeção visual

De acordo com o ponto 9.1, a marcação no protetor ocular deve ser limpa e permanente. Deve permanecer visível quando o protetor ocular está montado e não deve interferir com o campo de visão. Se a ocular e a armação formarem uma unidade única a marcação deve ser aplicada na

armação. Optou-se por uma unidade única de forma a reduzir as entradas de ar. A localização da marcação do protetor ocular, assim como da marcação CE, é apresentada na Figura 4.4.

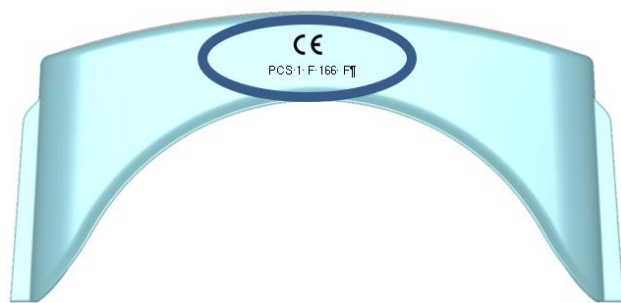


Figura 4.4 Marcação do protetor ocular

De acordo com o ponto 9.4 a marcação prevista para o protetor ocular desenvolvido, depois de realizado o exame UE de tipo, irá ser a seguinte:

PCS 1 F 166 F

Onde:

PCS – identificação do fabricante (*PCS Plastics Solutions*)

1 – Classe ótica da ocular

F – Símbolo para impactos de baixa energia (da ocular e da armação, respetivamente)

166 – Norma EN166

Devem, com cada protetor ocular, ser fornecidas as seguintes informações, de acordo com o ponto 10:

- a) Nome e endereço do fabricante;
- b) Número da norma;
- c) A identificação do protetor ocular;
- d) Instruções de armazenamento, uso e manutenção;
- e) Instruções de limpeza e desinfeção;
- f) Detalhes do campo de utilização, capacidades de proteção e características de desempenho;
- g) Detalhes dos acessórios adequados e das peças de substituição, assim como instruções de montagem;
- h) Prazo de obsolescência, se aplicável;
- i) Tipo de embalagem adequada ao transporte, se aplicável;
- j) O significado da marcação;
- k) Um aviso acerca de oculares de classe ótica 3 não se destinarem a um período de utilização prolongado, se aplicável;
- l) Um aviso sobre a compatibilidade da marcação;
- m) Um aviso para a possibilidade dos materiais que entram em contacto com a pele causarem reações alérgicas a indivíduos suscetíveis;

- n) Um aviso para a substituição de oculares danificados ou riscados;
- o) Um aviso acerca da possibilidade de protetores oculares de partículas a alta velocidade, quando utilizados em conjunto com óculos graduados, transmitirem impactos com risco para o utilizador;
- p) Um aviso para, se for necessária proteção contra partículas a alta velocidade a temperaturas extremas, o protetor ocular dever ser marcado com a letra T, depois da letra do impacto (FT, BT, AT).

De acordo com regulamentação da Comissão Europeia, a marcação CE deve ser reproduzida de acordo com a Figura 4.5.



Figura 4.5 Marcação CE

É ainda importante referir que, legalmente, é possível certificar um protetor ocular como dispositivo médico de acordo com a Diretiva 93/42/CEE do conselho. No entanto é um processo mais moroso e dispendioso, não existindo normas e regras para tal. É necessário que o fabricante tenha evidências que o protetor ocular fornece um benefício na resposta a uma ou mais doenças ou deficiências.

É também importante referir que, no anexo ZA da norma EN166, são identificados os pontos que estão em conformidade com a Diretiva 89/686/EEC, substituída pelo Regulamento UE 2016/425, garantindo desta forma os requisitos essenciais de saúde e segurança.

Foi definido na lei portuguesa (Decreto-Lei n.º 14-E/2020, de 13 de abril), um regime excecional e transitório para a importação e fabrico de EPI's, em virtude da pandemia provocada pelo vírus SARS-CoV-2:

‘Face à escassez destes produtos no mercado, e considerando a mobilização, desde o primeiro momento, do tecido empresarial nacional para colaborar no esforço conjunto de combate ao novo coronavírus, ficou estabelecido em Portugal, através do Decreto-Lei n.º 14-E/2020, de 13 de abril, um regime excecional e transitório relativo ao fabrico, importação, colocação e disponibilização no mercado nacional de dispositivos médicos e de equipamentos de proteção individual, para efeitos de prevenção do contágio do novo coronavírus (SARS-CoV-2), e emitidas em conjunto pelo INFARMED, I.P. e a ASAE as orientações para a importação e fabrico dos mesmos.’ – Direção Geral das Atividades Económicas

É necessário, neste regime transitório e excecional, que um fabricante de óculos de proteção individual, apresente à ASAE, previamente à colocação no mercado:

- Identificação da empresa
- Identificação do produto produzido
- Relatório de avaliação da conformidade em termos dos requisitos de segurança e saúde, elaborado pelo fabricante, contendo em anexo o relatório de ensaio específico para o produto, emitido por laboratório com reconhecimento técnico para o efeito.

Após a data da notificação à ASAE, o fabricante tem um período máximo de 6 meses para decidir se pretende colocar no mercado estes produtos de acordo com a legislação de harmonização da União Europeia [33].

Uma análise de vários produtos idênticos no mercado permitiu, não só analisar a ergonomia do protetor ocular desenvolvido, mas também identificar os vários componentes e respetivos materiais de óculos de proteção. Os principais componentes identificados foram lentes, armação e fita. Nalgumas das soluções foi, ainda, identificada a utilização de fivelas, que permitissem o ajustamento da fita. Na Tabela 4.2 estão sintetizados os materiais utilizados nos produtos analisados.

Tabela 4.2 Análise preliminar das peças e dos materiais

Componente	Descrição	Material
Lentes	Material rígido, boas propriedades óticas	PC
Armação	Material elástico, sem problemas no contacto com a pele	TPE's
Fivelas	Material rígido, alguma elasticidade	PC, PP, PA
Fita	Elasticidade, boa aderência ao material da armação/fivela	Tecido, neopreno, silicone, TPE's

De forma escolher os termoplásticos a utilizar na injeção, foi realizado um estudo preliminar acerca das técnicas de esterilização e descontaminação hospitalares. Foram consultados, para este estudo, profissionais de saúde do Hospital de Santa Maria. As técnicas de limpeza mais utilizadas, a nível hospitalar, são apresentadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 Técnicas de esterilização e descontaminação utilizadas em ambiente hospitalar

Método	Caraterização
Descontaminação	O material é mergulhado numa solução com água quente e desinfetante, durante 2 minutos. Posteriormente são secos e voltam a ser limpos com álcool a 70%.
Esterilização a vapor	Procedimento que envolve temperaturas a rondar os 120°C – 135°C, durante aproximadamente 15 – 20 minutos. Pode ser utilizado para materiais plásticos desde que estes possuam capacidade para tal.
Esterilização com plasma peróxido de hidrogénio	Procedimento utilizado para esterilizar material mais sensível às temperaturas da esterilização a vapor. Atinge temperaturas de 55°C. Não é possível utilizar este método em materiais plásticos
Esterilização com óxido de etileno	Procedimento não realizado a nível hospitalar, mas que, em certos casos, pode ser requisitado a empresas externas. É potencialmente cancerígeno: para manusear o aparelho têm de ser utilizado EPI's específicos. Pode ser utilizado em materiais poliméricos.

Está a ser utilizada exclusivamente a descontaminação em EPI's de proteção ocular, em ambiente hospitalar. No entanto foi feito uma pesquisa na plataforma *Omnexus* [36] da existência de variantes dos materiais escolhidos compatíveis com alguns dos métodos de limpeza acima descritos. Os materiais escolhidos apresentam todos uma variante testada com a esterilização vapor e/ou com a esterilização com plasma peróxido de hidrogénio.

Foi considerada, ainda, a compatibilidade de termoplásticos (Figura 2.5). Foi consultado, com o fornecedor da matéria-prima, a compatibilidade dos termoplásticos com a pele, de forma a cumprir um dos requisitos de saúde e segurança da norma EN166, referidos anteriormente.

Optou-se pela utilização de fivelas e fitas fabricadas na empresa de forma a garantir um produto totalmente fabricado na empresa, sem dependência de produtores e distribuidores, afetados pela pandemia. Os materiais definidos para a injeção são apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 Materiais para a injeção

Componente	Material
Lentes	PC
Armação	TPU
Fivelas	PC
Fita	TPU

Foi utilizado o *software CAD Cimatron 15* na modelação do produto, por permitir a rápida implementação de alterações ao longo do projeto e por ser o *software* utilizado no desenvolvimento dos moldes da empresa. A iteração final da modelação dos óculos é apresentada na Figura 4.6.



Figura 4.6 Modelo 3D final do EPI

Para a prototipagem das diferentes iterações, os principais métodos utilizados foram:

- **Impressão 3D, do conjunto armação e lentes, e das fivelas.**

Foram feitos três protótipos recorrendo à impressão 3D do conjunto armação e lentes de forma a avaliar as suas dimensões e a ergonomia (Figura 4.7, Figura 4.8 e Figura 4.9).



Figura 4.7 1º protótipo do conjunto armação e lentes



Figura 4.8 2º protótipo do conjunto armação e lentes



Figura 4.9 Protótipo final do conjunto armação e lentes

Foram realizadas várias iterações para as fivelas de forma a garantir o encaixe na armação. A prototipagem de várias fivelas foi também importante para compreender se havia desregulação involuntária da fita (Figura 4.10).

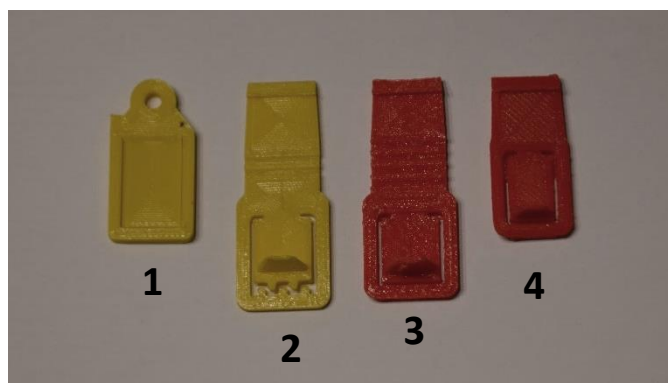


Figura 4.10 Sequência de protótipos das fivelas

- **Protótipos em papel/cartão/elástico para a fita**

Para a prototipagem da fita foram utilizados papel, cartão e elástico. O objetivo desta prototipagem foi conhecer o comprimento de fita necessário, tendo em conta a elasticidade do TPU. A principal dificuldade encontrada na prototipagem da fita foi avaliar a sua elasticidade, visto que os elásticos utilizados tinham maior elasticidade que o TPU e o papel/cartão menor.

4.3 Projeto do molde

Apesar dos óculos de proteção individual serem constituídos por três peças, com três moldes diferentes, apenas irá ser realizado o estudo do molde do conjunto armação e lente. O projeto e a fabricação dos restantes moldes seguiram uma metodologia idêntica.

O número atribuído a este molde (O20017) está de acordo a numeração utilizada na empresa. Irá ser utilizado, por diversas vezes, ao longo desta dissertação.

- **Requisitos da seleção do material**

A principal carga identificada foi a de impacto obrigatória para os testes da EN166.

Foram consideradas as temperaturas relevantes para os testes da norma EN166, os agentes de limpeza e a radiação UV.

Foram também consideradas a transparência da lente, a translucidez da armação, a contração de ambos os materiais, a inflamabilidade (necessária para um dos testes da EN166) e o custo.

- **Revisão dos detalhes da peça**

Evitaram-se vértices e arestas. Foram definidos pontos de injeção de forma ao plástico fluir das zonas mais finas para as zonas mais espessas.

Avaliaram-se os ângulos de saída da peça, de acordo com a qualidade superficial.

- **Considerações de montagens**

Foi considerada a montagem da armação com a fivela, nomeadamente em termos de contração da peça.

- **Preocupações no molde**

Foram revistos os fatores de contração (nomeadamente referentes ao arrefecimento e à posição dos ejetores).

Definiram-se os principais aspetos do bico e dos canais de injeção, da extração e reviram-se ângulos de saída e alterações abruptas da espessura.

4.3.1 Especificações

É necessário, numa fase inicial de projeto, conhecer as características da máquina de injeção para a qual é projetado o molde, nomeadamente mínimas e máximas, cursos, força de fecho e características dos pratos. Como a injeção é multi-componente com *index plate* é necessário saber o diâmetro máximo que o veio hidráulico pode ter, assim como o seu comprimento, para a ligação ao macaco hidráulico da máquina. As características da máquina para a qual foi projetado o molde, a *Negri Bossi v250 cambio* são apresentadas no Anexo 5.

Na modelação do molde, realizada pelos projetistas da empresa, foi utilizado novamente o software *Cimatron 15*. Sendo o projeto do molde parte integrante desta dissertação, foram acompanhados os diferentes estágios do projeto do molde. Foi possível colocar questões pertinentes acerca de alguns aspetos a ter em conta e participar ativamente em algumas das tomadas de decisão dos projetistas.

Antes da modelação do molde é necessária uma avaliação preliminar do funcionamento mecânico do molde. Sendo necessária a produção de duas peças diferentes no molde em questão, de dois materiais diferentes (a armação em termoplástico de poliuretano e as lentes em policarbonato) é necessário um mecanismo que faça a transferência entre cavidades. Para a injeção destes dois componentes irá utilizar-se um *index plate*, que permite a rotação de um macho móvel. Este mecanismo está ligado a um dos macacos hidráulicos da prensa.

O ciclo de funcionamento do molde O20017 segue a seguinte lógica:

1. Injeção do PC, através da unidade de injeção auxiliar
2. Rotação 180º do *index plate*
3. Sobre injeção do TPU, através da unidade de injeção principal

Os aços utilizados nos componentes do molde não requerem nenhum tratamento térmico pelo facto das temperaturas de processamento dos materiais serem relativamente baixas.

Apesar do principal objetivo deste trabalho não ser o estudo do molde e da injeção, foi incluída nesta dissertação uma síntese dos procedimentos efetuados. Este estudo é essencial para a compreensão dos fatores mais importantes da moldação por injeção termoplástica. O

conhecimento destes fatores leva, inevitavelmente, a melhores tomadas de decisão no projeto da peça. As características da peça podem ser alteradas depois da modelação e da simulação.

4.3.2 Modelação

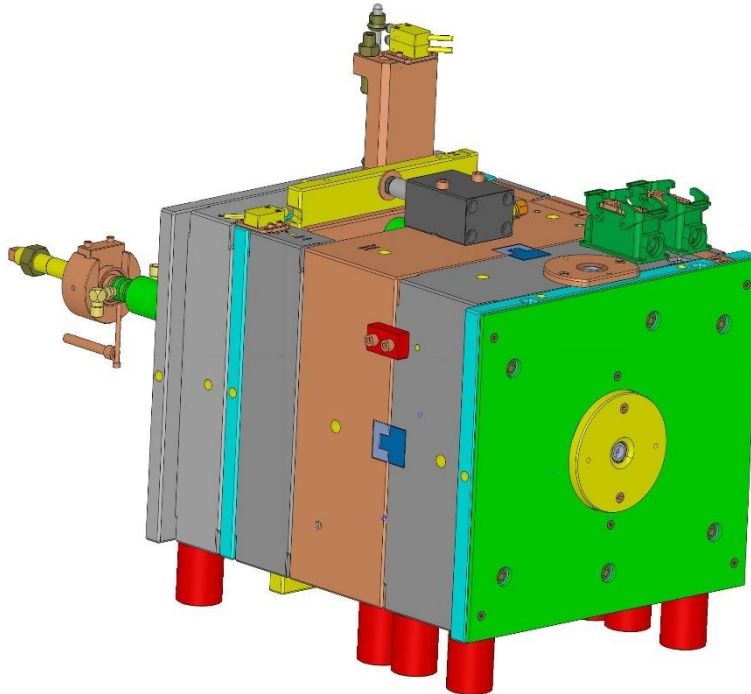


Figura 4.11 Modelo completo do molde

Muito sucintamente, seguem-se os principais passos da modelação do molde (Figura 4.11):

- Reanálise dos ângulos de saída da peça e dos acabamentos superficiais pretendidos.
- Inserção do fator de contração de acordo com os materiais.
- Análise da existência de zonas negativas.
- Descrição do funcionamento do *index plate*, pela definição das peças do mecanismo.
- Criação do anel de centragem e dos postigos da injeção e extração.
- Definição dos sistemas de injeção. A injeção na armação será realizada com um sistema de alimentação com ataque submarino. A injeção das lentes será feita através de bico quente de ataque direto.
- Definição do topo do molde e colocação dos apoios.
- Definição da guia deslocada.
- Realização dos rasgos nas chapas de acordo com a máquina de injeção.
- Definição do travamento do molde.
- Realização de quatro circuitos independentes de refrigeração, três na cavidade e um na bucha, no veio do *index plate*, para manter ambos os lados do molde à temperatura para a moldação (requer a confirmação da simulação).

- Definição da extração. A extração deste molde ocorrerá no TPU de forma a evitar danos no PC que afetem as propriedades óticas da lente. A extração será através de extratores laminares e com ar comprimido, entre a bucha e o postigo da lente.
- Definição dos circuitos de escapes de gases na cavidade em ambas as injeções (requer a confirmação da simulação).
- Colocação dos acessórios (parafusos, olhais, *records*).

Após a modelação do molde, foram impressos para análise os desenhos preliminares 2D com os cortes e as vistas necessárias. Nas semanas seguintes, a realização de reuniões com a equipa de fabricação permitiu a identificação de problemas e consequente alteração de acordo com as dificuldades encontradas, tendo sido elaborado o desenho final.

4.3.3 Simulação

Para a simulação das fases de injeção e compactação utilizou-se o *software Moldex 3D – SimulFlow*. Os parâmetros foram selecionados com o auxílio do histórico da empresa, tendo em conta a semelhança a moldes anteriores. Os parâmetros introduzidos na simulação são apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 Parâmetros da simulação

Parâmetro	PC	TPU
Tempo de enchimento [s]	0.4	1.34
Tempo de compactação [s]	3.15	4.18
Temperatura do fundido [°C]	290	220
Temperatura do molde [°C]	60	50
Tempo de arrefecimento [s]	10	11.6
Tempo de abertura do molde	5	5
Temperatura ambiente [°C]	25	25
Caudal de água [cm ³ /s]	120	120
Temperatura da água [°C]	100	50

4.3.4 Fabricação e montagem

Os procedimentos de fabricação e de montagem das diferentes peças do molde não constituem o principal objetivo desta dissertação. Qualquer erro na fabricação e/ou montagem do molde pode ser identificado depois dos testes e ser corrigido. De referir a importância da comunicação constante entre as equipas de projeto e fabricação do molde de forma a identificar e corrigir rapidamente falhas no projeto.

4.3.5 Testes

Foram realizados 2 testes nas instalações da empresa. Foram acompanhadas as fases de montagem, injeção e desmontagem do molde. São também apresentados nos Anexos 6 e 7 os resumos dos testes efetuados. O maior problema ocorreu na extração, que estava a ser realizada de forma incorreta. Optou-se, para a resolução deste problema, pela adição de dois extratores, também laminares, junto à lateral da lente, de forma a não perturbar as propriedades óticas. Os testes efetuados também revelaram problemas resultantes da fabricação e/ou montagem do molde. Visto a sua identificação não ser o principal objetivo desta dissertação, não irão ser analisados.

4.4 Metodologia

Na Figura 4.12 apresenta-se um resumo da metodologia utilizada na conceção do EPI e do respetivo molde, estando as tecnologias de fabrico, à partida, definidas. Foram identificadas três fases na metodologia utilizada.

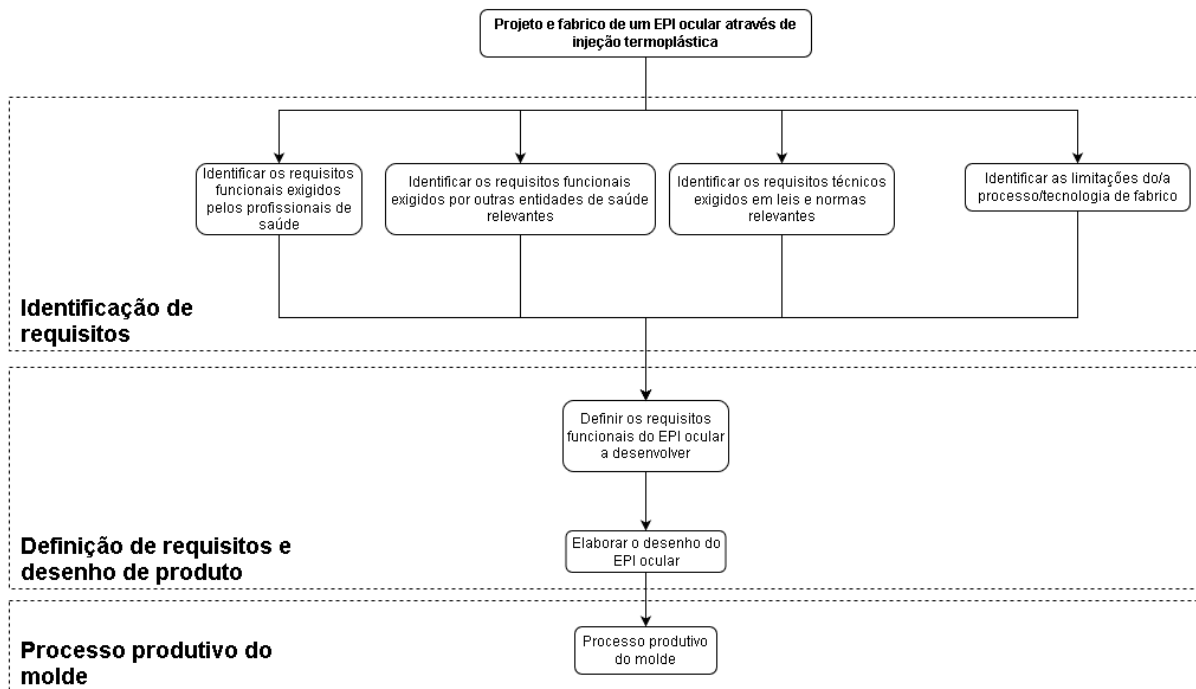


Figura 4.12 Resumo da metodologia utilizada

5 Apresentação e análise de resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos e o atual estado do projeto. A divisão foi efetuada nos seguintes subcapítulos:

- **Equipamento de proteção individual ocular**, onde são analisadas as especificações técnicas do produto e a sua certificação.
- **Simulação**, onde são apresentados os resultados da simulação no *Moldex 3D* e as conclusões da análise dos resultados.

5.1 Equipamento de proteção individual ocular

O principal objetivo do produto desenvolvido foi responder aos requisitos funcionais impostos pelos profissionais de saúde, promovendo a segurança na utilização do mesmo. A avaliação do produto apenas poderá ser feita aquando da sua utilização. No entanto, a avaliação de conformidade é um importante passo para a aceitação do produto. Uma comparação entre os requisitos funcionais do protetor ocular e os requisitos funcionais exigidos pelas diferentes entidades (Profissionais de saúde, Organização Mundial de Saúde e Comissão Europeia) é apresentada na Tabela 5.1.

Não existindo condições para a execução de tratamentos anti embaciamento e anti risco nas lentes, o protetor ocular tem de ter entradas de ar com tamanho suficiente para prevenir o embaciamento. A introdução do processo de revestimento das lentes com tratamentos anti embaciamento e anti risco não era, de todo, exequível numa empresa em que este não é o principal foco de negócio. As entradas de ar do protetor ocular são, no entanto, diretas. Era possível o desenvolvimento de um protetor ocular com entradas indiretas de ar e consequente proteção a gotículas, caso existisse, numa fase inicial de projeto, um melhor conhecimento das normas EN166, EN167 e EN168. Exemplos de entradas indiretas são apresentados na Figura 5.1 e na Figura 5.2



Figura 5.1 - Primeiro exemplo de ventilação indireta



Figura 5.2 - Segundo exemplo de ventilação indireta

O produto final desenvolvido é apresentado na Figura 5.3. O manual de instruções realizado é apresentado no Anexo 3.



Figura 5.3 Óculos de proteção individual PCS21

O EPI desenvolvido encontra-se em fase de avaliação de conformidade dos requisitos essenciais de saúde e segurança definidos pela ASAE, adiando em 6 meses o exame tipo de avaliação de conformidade e respetiva aposição de marcação CE. De acordo com a ASAE existe apenas um laboratório em Portugal capaz de avaliar a conformidade de um equipamento de proteção ocular, e a bateria de testes nele realizados apenas garante a conformidade com alguns dos requisitos básicos exigidos, todos estes não oculares. A documentação técnica está preparada, na empresa, para a avaliação de conformidade.

De referir que de acordo com o *NANDO*, o exame UE de tipo (módulo B) do produto terá de ser realizado por um organismo notificado sediado noutro país da UE, por Portugal não ter laboratórios de certificação para equipamentos de proteção ocular.

Tabela 5.1 Requisitos funcionais dos *Goggles PCS21*

Requisito funcional	Entidade	<i>Goggles PCS21</i>
Utilização simultânea com óculos de correção	Todas	✓
Visibilidade adequada	Todas	✓
Conforto	Todas	✓
Proteção a gotículas/Ventilação indireta	Todas	×
Colocação e remoção prática	PS	✓
Boa vedação com a pele facial	OMS/CE	✓
Armação flexível	OMS/CE	✓
Cobrir os olhos e as áreas envolventes	Todas	✓
Lente com tratamento anti embaciamento e anti risco	OMS	×
Banda flexível e ajustável que não se desregule involuntariamente	OMS/CE	✓
Reutilizável ou descartável	Todas	✓
Construção e materiais	CE	✓
Fita elástica com 10 mm de largura	CE	✓
Campo de visão	CE	✓*
Poderes refrativos esférico, astigmático e prismático	CE	✓*
Transmitância	CE	✓*
Difusão de luz	CE	✓*
Qualidade do material e da superfície da lente	CE	✓*
Robustez	CE	✓*
Estabilidade a alta temperatura	CE	✓*
Resistência à radiação ultravioleta	CE	✓*
Resistência à corrosão	CE	✓*
Resistência à ignição	CE	✓*
Proteção lateral	CE	✓*
Marcação	CE	✓*
Manual de instruções	CE	✓*

✓ requisito funcional do EPI desenvolvido

× requisito funcional do EPI não desenvolvido

✓* carece de resultados de testes por um organismo notificado

PS – Profissionais de Saúde

OMS – Organização Mundial de Saúde

CE – Comissão Europeia (Regulamento UE2016/425 e EN166:2001)

5.2.1 Enchimento e compactação

- **Linhas de soldadura**

As linhas de soldadura são as zonas mais frágeis da peça. A simulação das linhas de soldadura permitiria uma alteração nos mecanismos do molde, numa fase precoce de projeto. No PC não foi identificada nenhuma linha de soldadura, pois a frente de fundido não se intersecta. As linhas de soldadura do TPU são apresentadas, a vermelho, na Figura 5.5. Não foi realizada nenhuma alteração na injeção devido à posição das linhas de soldadura.

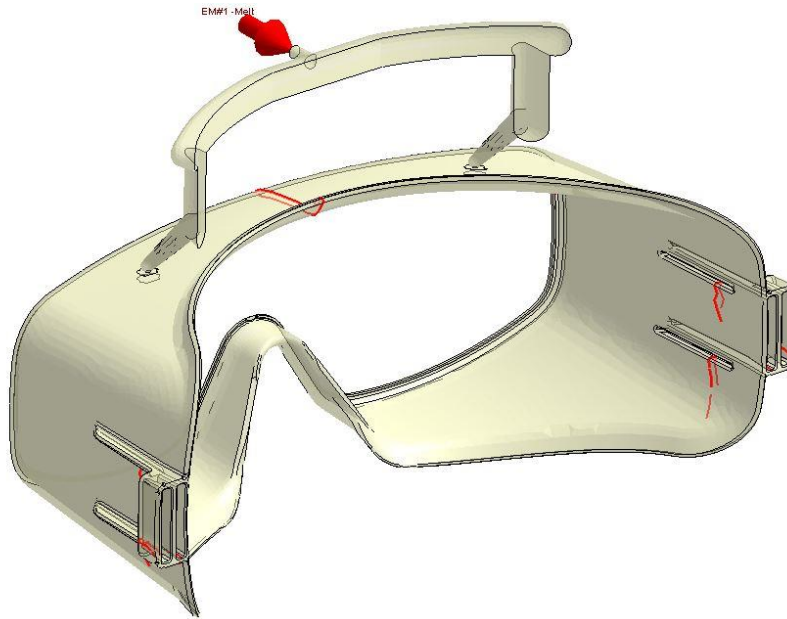


Figura 5.5 Linhas de soldadura do TPU (a vermelho)

- **Padrão de enchimento**

A comparação entre as mesmas fases na simulação e injeção revelou resultados idênticos em ambos os materiais (Figura 5.6, Figura 5.7 e Figura 5.8), exceto na 2ª comparação do TPU (Figura 5.9).

As inconsistências entre a simulação e a injeção, nomeadamente o desfasamento das frentes de fundido, devem-se à incompleta e morosa modelação dos sistemas de arrefecimento e de fuga de gases. Foram considerados sistemas de arrefecimento e de fuga de gases padrão do *Moldex 3D*. Foram apenas definidas as dimensões e a localização dos canais relativamente à impressão.



Figura 5.6 1ª comparação do PC

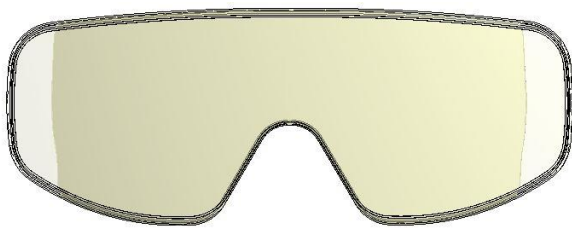
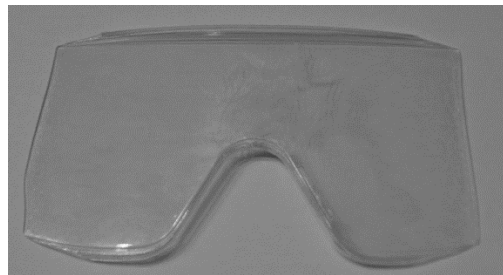


Figura 5.7 2ª comparação do PC

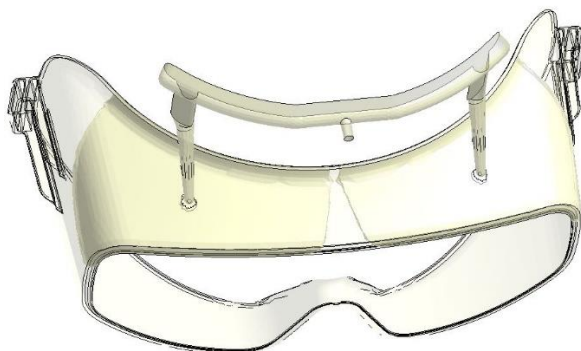


Figura 5.8 1ª comparação do TPU

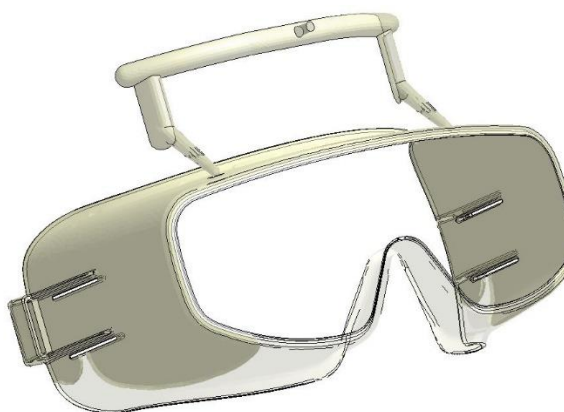


Figura 5.9 2ª comparação do TPU



- **Fugas de gases**

As fugas de gases devem ser realizadas nas zonas onde existem linhas de soldadura e em zonas terminais de enchimento. A simulação permitiu identificar os locais onde são previsíveis prisões de gases (Figura 5.10 e Figura 5.11).

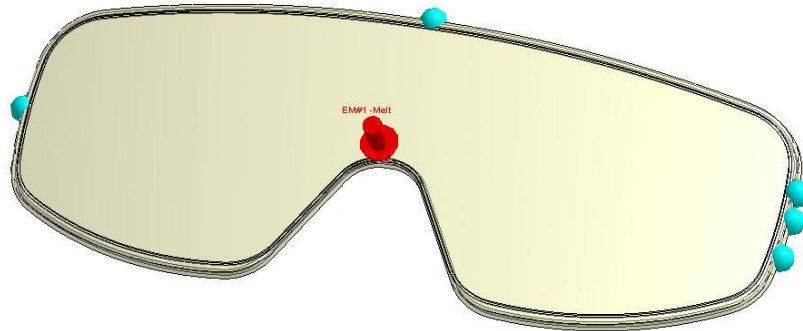


Figura 5.10 Fugas de gases no PC, a azul

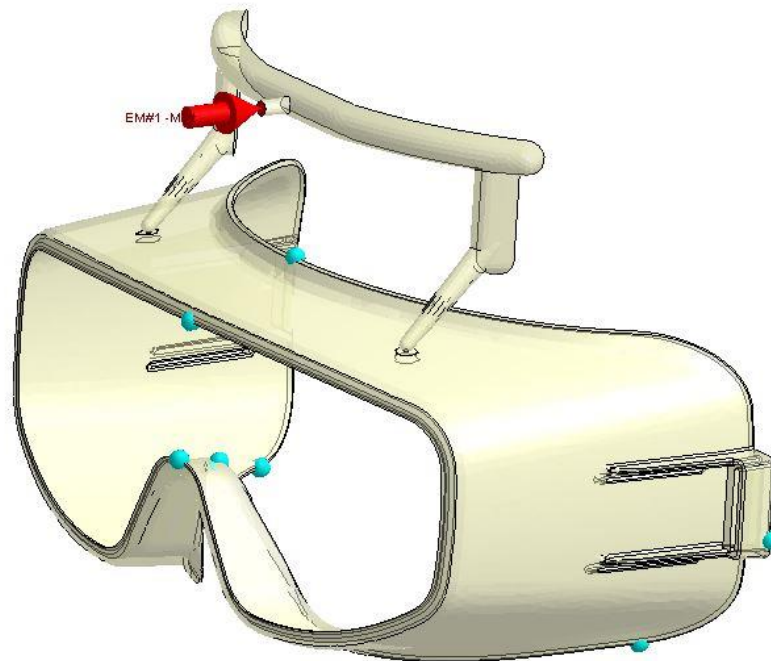


Figura 5.11 Prisões de gases no TPU, a azul

- **Rechupes**

A simulação efetuada não revelou rechupes no PC. O maior rechupe no TPU ocorre na zona do nariz, de uma grandeza de 10^{-2} mm (Figura 5.12).

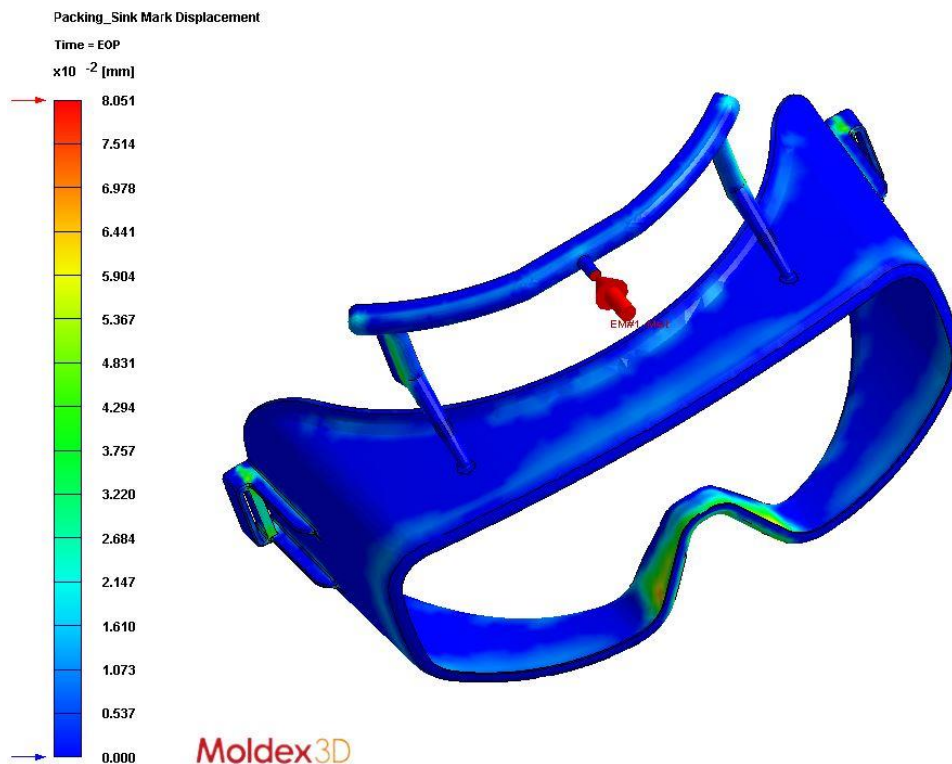


Figura 5.12 Rechupe no TPU

- **Força de fecho**

A análise da força de fecho permite avaliar a adequabilidade da máquina de injeção. Os resultados obtidos confirmam a adequabilidade da máquina. A força de fecho total corresponde ao somatório de ambas as forças de fecho (Figura 5.13 e Figura 5.14).

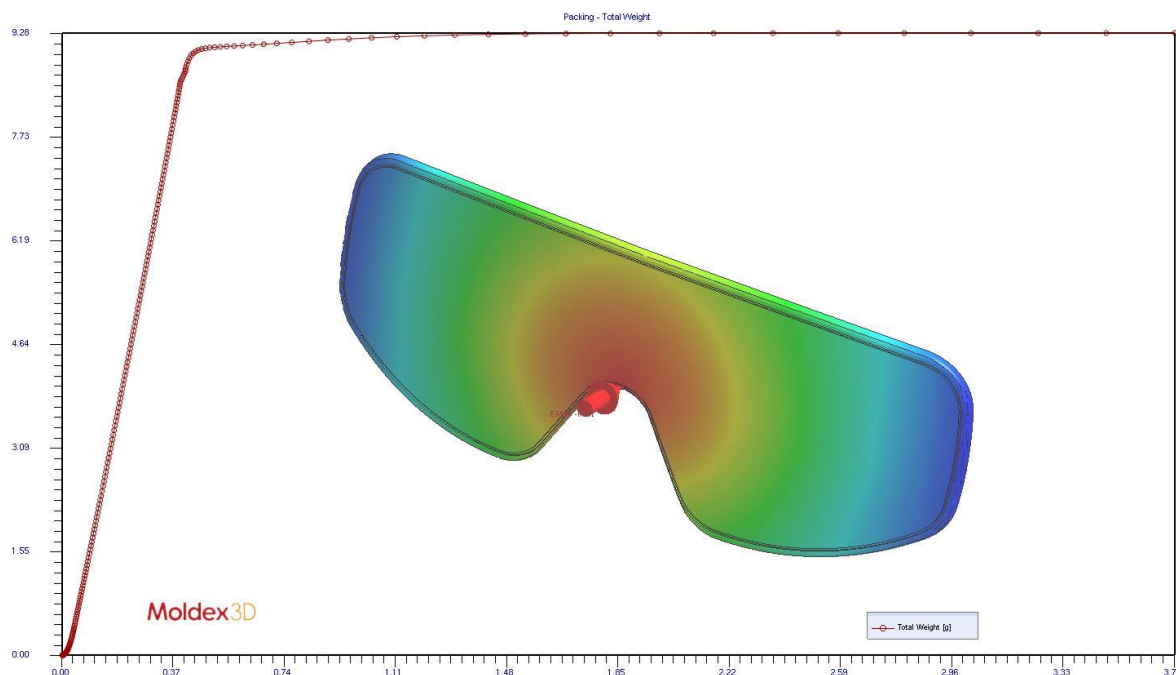


Figura 5.13 Força de fecho do PC ao longo do ciclo

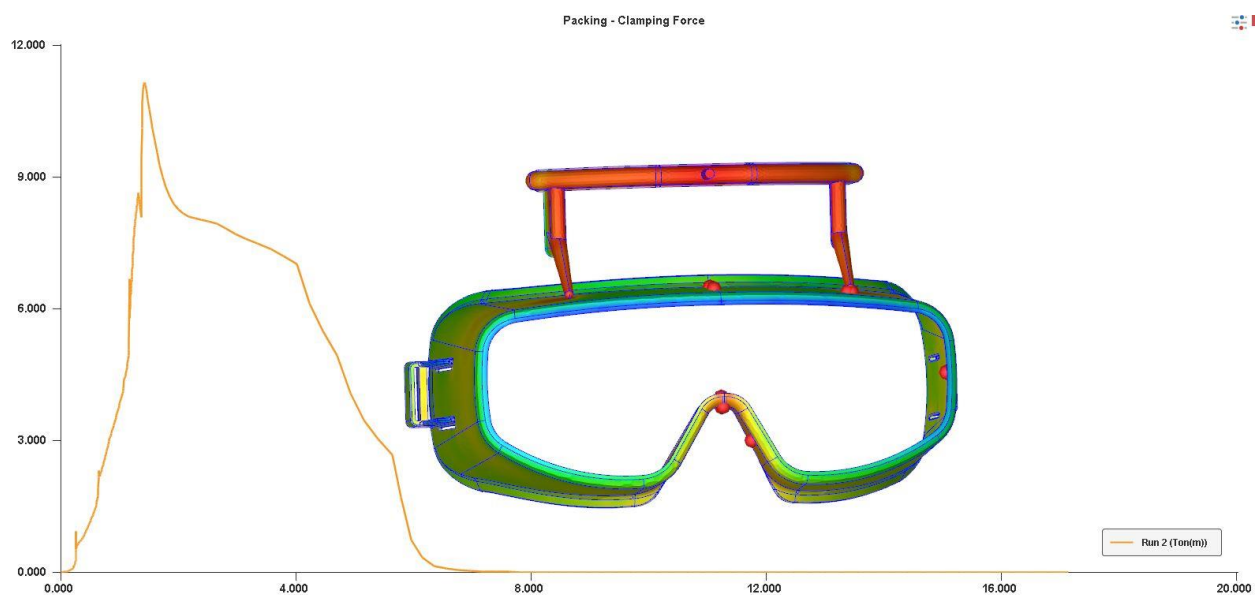


Figura 5.14 Força de fecho do PC ao longo do ciclo

- **Massa da moldação**

É possível, na simulação prever a quantidade de material injetado nas diferentes fases (Figura 5.15 e Figura 5.16). O valor total registado na simulação é de 55.19 g. A massa total real da impressão é de 52.3 g.

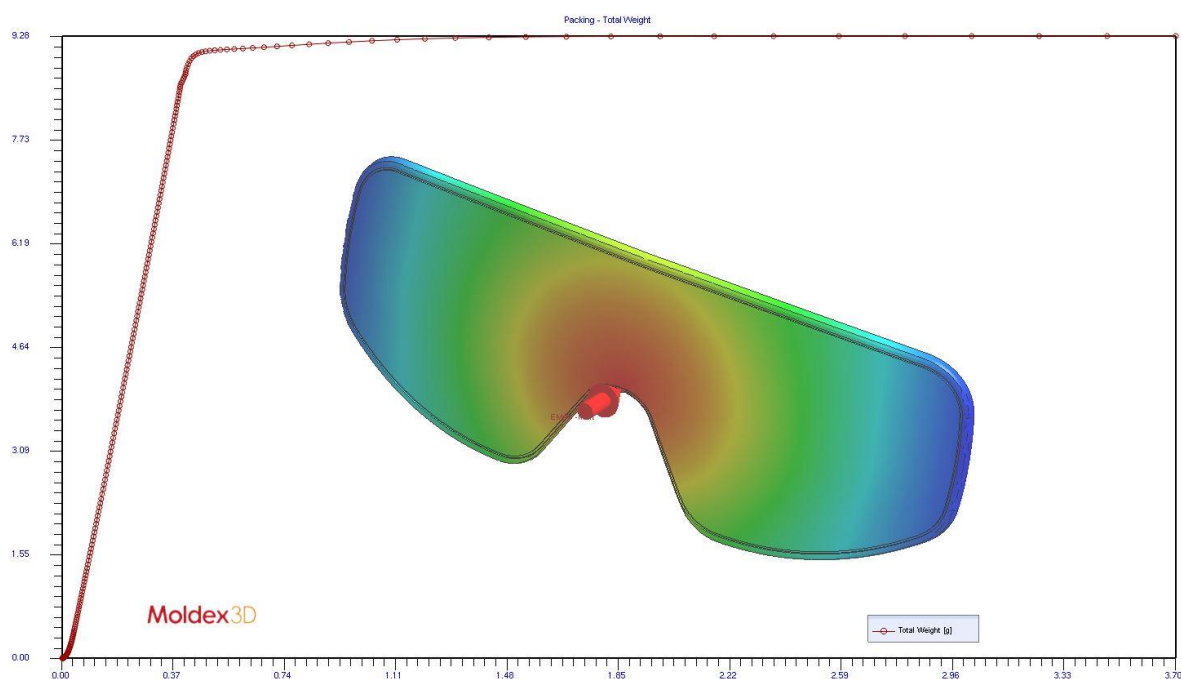


Figura 5.15 Massa do PC

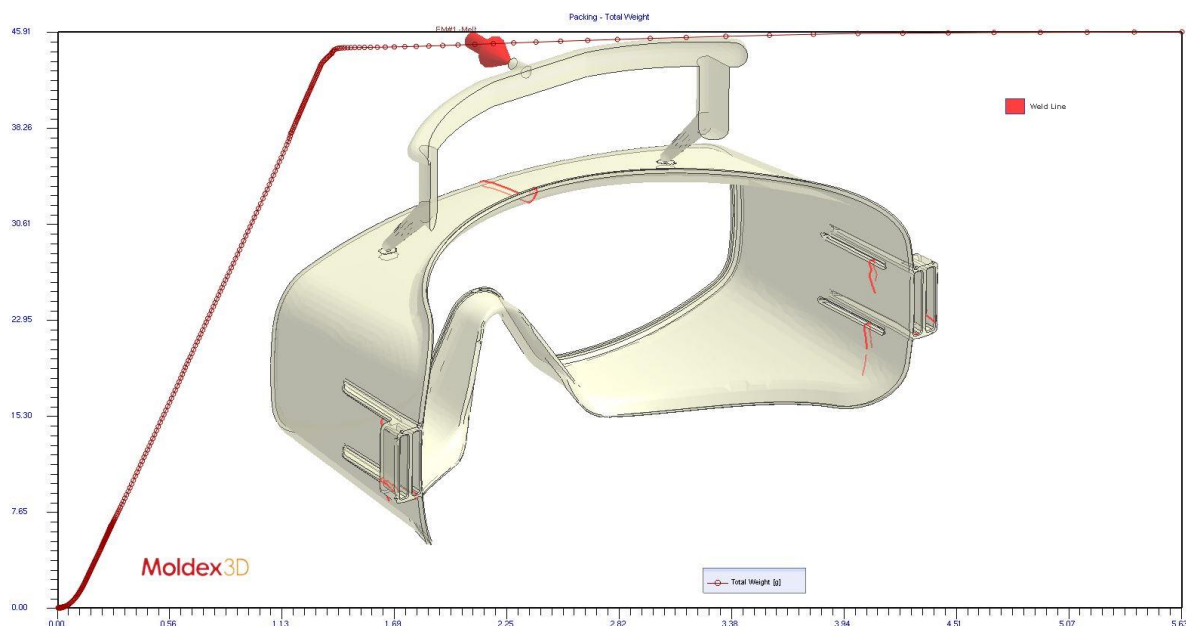


Figura 5.16 Massa do TPU

5.2.2 Arrefecimento

Os resultados da simulação do arrefecimento permitiram prever o comportamento térmico da peça e avaliar a ejeção. Por este motivo apenas foi realizada a simulação para o TPU. O tempo de arrefecimento até à extração é menor do que dois segundos em toda a peça (Figura 5.17 e Figura 5.18).

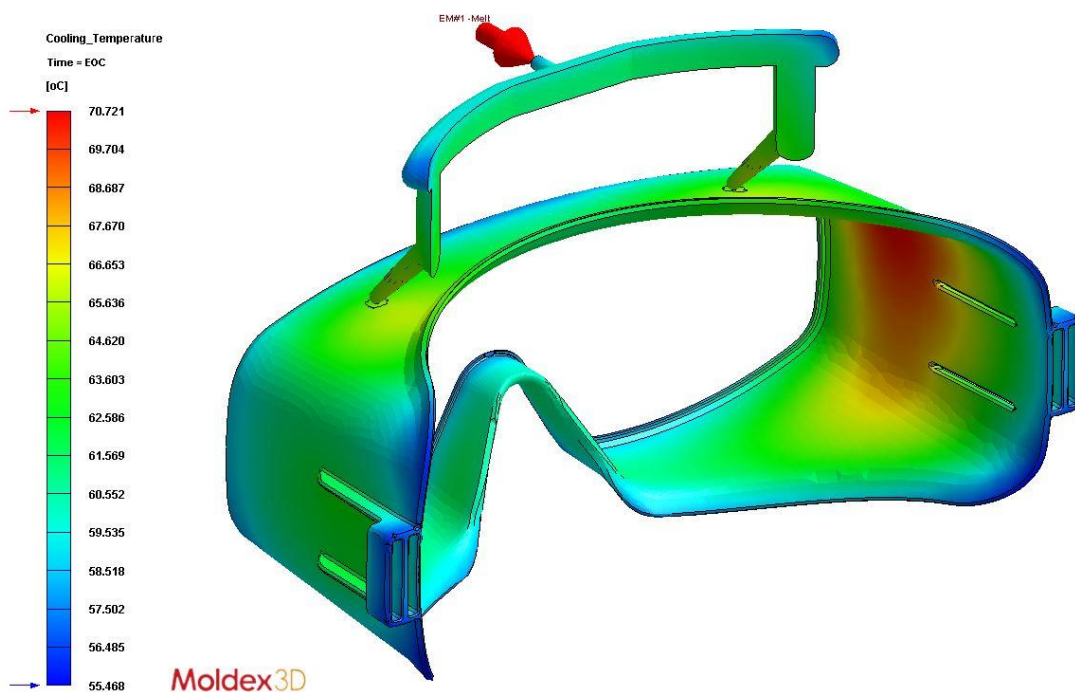


Figura 5.17 Temperatura de arrefecimento

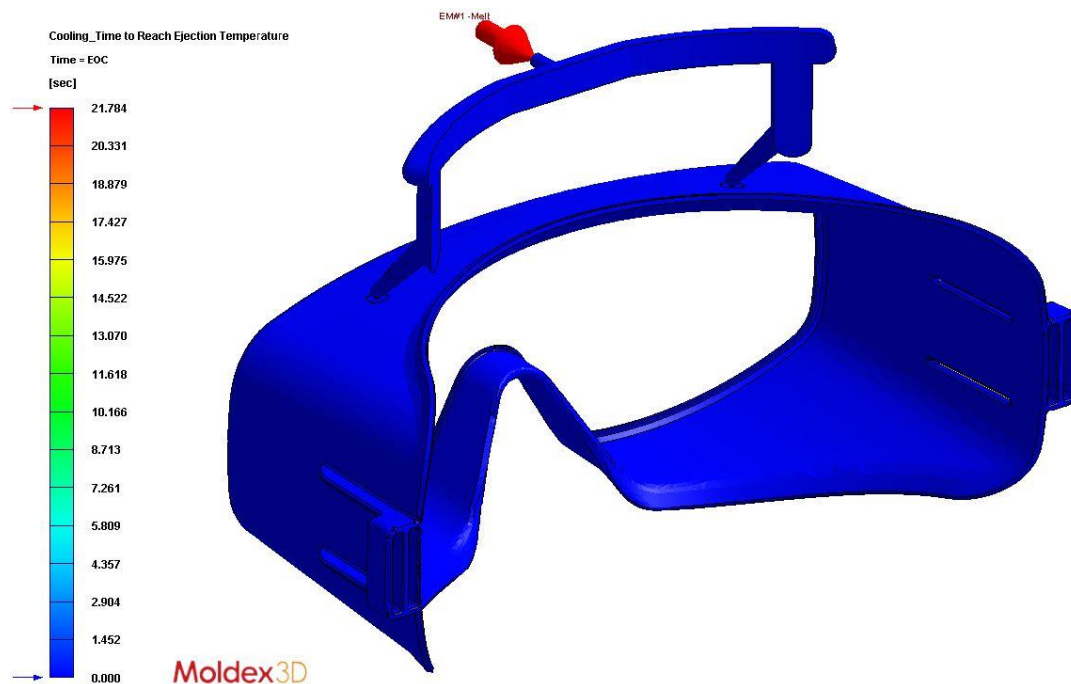


Figura 5.18 Tempo de arrefecimento até à extração

5.2.3 Empeno

A simulação do empeno é importante, pois os resultados obtidos podem levar a alterações no design da peça. Nos óculos de proteção, visto tratar-se de uma injeção bi-material, foi importante para perceber se o empeno da primeira injeção era compatível com a sobre injeção. O empeno máximo é de 0,805 mm (Figura 5.19).

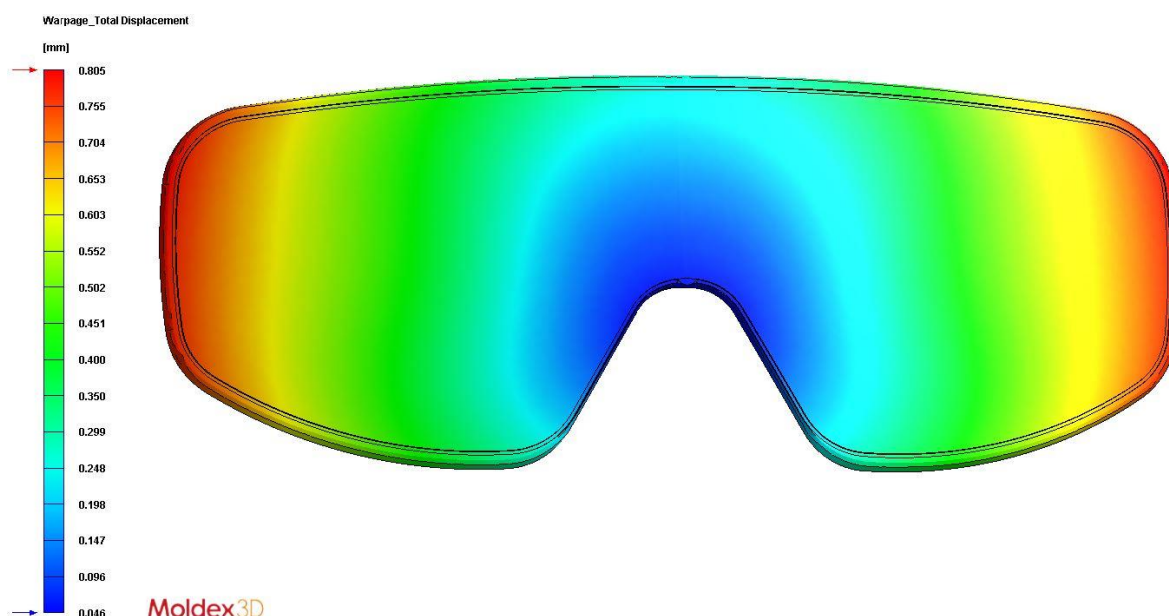


Figura 5.19 Empeno PC

6 Conclusões e trabalhos futuros

6.1 Conclusões e contributo

Uma das principais propostas do plano de recuperação económica 2020-2030 é a consolidação da fileira dos equipamentos de proteção individual e dispositivos médicos (DM), revendo e renovando os atuais sistemas de certificação. Para reforçar a proposta é também lembrado no plano de recuperação económica que este tipo de produtos ‘vão continuar a ser procurados, mesmo depois dos efeitos da pandemia terminarem’.

Existindo uma forte aposta no desenvolvimento nacional de EPI's e DM's a nível nacional é exetável um crescimento deste mercado nos próximos anos. A procura e o desenvolvimento de metodologias de projeto deste tipo de produtos, que proporcionem melhores tomadas de decisão, está a aumentar. A metodologia desenvolvida pode constituir um contributo para o rápido desenvolvimento de EPI's o que poderá permitir o aumento de competitividade da empresa onde ser realizaram os trabalhos conducentes a esta dissertação. Verificou-se ainda que o conhecimento dos regulamentos e das normas de conceção de EPI's tem de ser o primeiro passo no seu desenvolvimento.

A metodologia desenvolvida e aplicada nesta dissertação permite o desenvolvimento de um EPI e respetivo molde, de uma forma rápida e eficaz. Os resultados obtidos foram muito satisfatórios. Tanto o produto como o processo foram desenvolvidos num curto intervalo de tempo (três meses). Será de realçar que o desenvolvimento de um molde de injeção tem uma duração habitual de cerca de seis meses. A maior poupança de tempo no projeto do produto ocorreu devido à identificação dos requisitos funcionais. Em relação ao projeto do molde, a maior poupança de tempo ocorreu devido ao projeto simultâneo de produto e processo, ou seja, através da correta identificação das ferramentas computacionais e das técnicas DIPP.

No entanto, através da análise de resultados foi possível identificar as principais limitações que podem ocorrer nos casos em que a metodologia não seja corretamente utilizada. O facto de já existir, por parte da empresa, um anteprojecto deste tipo de EPI, condicionou a aplicação desde a 1ª fase, nomeadamente no que diz respeito à completa identificação das especificações técnicas dos óculos de proteção. É fulcral um sólido conhecimento da regulamentação e das normas a cumprir para o desenvolvimento de um produto cuja marcação *CE* é obrigatória quando se pretende a comercialização no espaço económico europeu. Além disso, o facto de a empresa estar em fase de expansão impediu uma maior rapidez em todo o processo, nomeadamente na injeção dos moldes. É de realçar, ainda, a inexistência de organismos notificados com capacidade para a realização de todos os testes de avaliação de conformidade em Portugal, o que condicionou a concretização da certificação deste produto. Os resultados obtidos na simulação revelaram-se positivos na medida em que possibilitaram a confirmação das decisões tomadas. As conclusões retiradas dos testes de injeção permitiram identificar e corrigir problemas, essencialmente, na

extração. Desta forma, foi corporizada a importância das ferramentas CAE para a produção, sem falhas ou retrocessos, de um molde para injeção.

6.2 Propostas para trabalhos futuros

A definição dos requisitos funcionais de um produto é morosa e dispendiosa. No entanto, os requisitos precisam de ser definidos numa fase precoce do projeto de forma a minimizar custos e diminuir prazos. O estudo do mercado e da regulamentação em vigor e as conclusões retiradas deste estudo são fundamentais no desenvolvimento de um produto que se enquadre na procura. É proposto, na elaboração de outras metodologias deste tipo, um maior tempo despendido nesta fase.

Como sugestões de trabalhos futuros propõe-se a aplicação desta metodologia, e de variantes desta, na conceção de outros EPI's e de dispositivos médicos (DM's), em casos onde o tempo desde a conceção até à produção é curto. Apenas desta forma é possível validar a metodologia e concluir acerca de mais aspetos a melhorar.

Referências

-
- [1] CEFAMOL - Associação Nacional da Indústria dos Moldes, (2020). <https://www.cefamol.pt/>.
 - [2] A. Shokrani, E.G. Loukaides, E. Elias, A.J.G. Lunt, Exploration of alternative supply chains and distributed manufacturing in response to COVID-19; a case study of medical face shields, *Mater. Des.* 192 (2020) 108749. doi:10.1016/j.matdes.2020.108749.
 - [3] NAM Coronavirus Outbreak Special Survey February/March 2020, n.d. www.nam.org/wp-content/uploads/2020/03/NAM-SPECIAL-CORONA-SURVEY.pdf.
 - [4] Shortage of personal protective equipment endangering health workers worldwide, (n.d.). <https://www.who.int/news/item/03-03-2020-shortage-of-personal-protective-equipment-endangering-health-workers-worldwide> (accessed November 28, 2020).
 - [5] J. Pedraja, J.M. Maestre, J.M. Rabanal, C. Morales, J. Aparicio, I. del Moral, Role of 3D printing for the protection of surgical and critical care professionals in the COVID-19 pandemic, *Rev. Esp. Anesthesiol. Reanim.* 67 (2020) 417–424. doi:10.1016/j.redar.2020.07.011.
 - [6] T. Dargaville, K. Spann, M. Celina, Opinion to address the personal protective equipment shortage in the global community during the COVID-19 outbreak, *Polym. Degrad. Stab.* 176 (2020) 109162. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2020.109162.
 - [7] N.J. Rowan, J.G. Laffey, Challenges and solutions for addressing critical shortage of supply chain for personal and protective equipment (PPE) arising from Coronavirus disease (COVID19) pandemic – Case study from the Republic of Ireland, *Sci. Total Environ.* 725 (2020) 138532. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138532.
 - [8] B. McEvoy, N.J. Rowan, Terminal sterilization of medical devices using vaporized hydrogen peroxide: a review of current methods and emerging opportunities, *J. Appl. Microbiol.* 127 (2019) 1403–1420. doi:10.1111/jam.14412.
 - [9] Y. Chen, M. Neff, B. McEvoy, Z. Cao, R. Pezzoli, A. Murphy, N. Gately, M.H. Jnr, N.J. Rowan, D.M. Devine, 3D printed polymers are less stable than injection moulded counterparts when exposed to terminal sterilization processes using novel vaporized hydrogen peroxide and electron beam processes, *Polymer (Guildf)*. 183 (2019) 121870. doi:10.1016/j.polymer.2019.121870.
 - [10] S.T. Flanagan, D.H. Ballard, 3D Printed Face Shields: A Community Response to the COVID-19 Global Pandemic, *Acad. Radiol.* 27 (2020) 905–906. doi:10.1016/j.acra.2020.04.020.
 - [11] M. Sapoval, A.L. Gaultier, C. Del Giudice, O. Pellerin, N. Kassis-Chikhani, V. Lemarteleur, V. Fouquet, L. Tapie, P. Morenton, B. Tavitian, J.P. Attal, 3D-printed face protective shield in interventional radiology: Evaluation of an immediate solution in the era of COVID-19 pandemic, *Diagn. Interv. Imaging.* 101 (2020) 413–415. doi:10.1016/j.diii.2020.04.004.
 - [12] T. Mueller, A. Elkaseer, A. Charles, J. Fauth, D. Rabsch, A. Scholz, C. Marquardt, K. Nau, S.G. Scholz, Eight weeks later-the unprecedented rise of 3D printing during the COVID-19 pandemic-A case study, lessons learned, and implications on the future of global decentralized manufacturing, *Appl. Sci.* 10 (2020) 1–14. doi:10.3390/AP10124135.
 - [13] G.R.J. Swennen, L. Pottel, P.E. Haers, Custom-made 3D-printed face masks in case of pandemic crisis situations with a lack of commercially available FFP2/3 masks, *Int. J. Oral*

- Maxillofac. Surg. 49 (2020) 673–677. doi:10.1016/j.ijom.2020.03.015.
- [14] S. Ishack, S.R. Lipner, Applications of 3D Printing Technology to Address COVID-19–Related Supply Shortages, *Am. J. Med.* 133 (2020) 771–773. doi:10.1016/j.amjmed.2020.04.002.
- [15] 3D printed face shields for medics and professionals - Prusa3D - 3D Printers from Josef Průša, (n.d.). <https://www.prusa3d.com/covid19/> (accessed November 28, 2020).
- [16] W. Clifton, W. Clifton, A. Damon, A. Damon, A.K. Martin, Considerations and Cautions for Three-Dimensional-Printed Personal Protective Equipment in the COVID-19 Crisis, *3D Print. Addit. Manuf.* 7 (2020) 97–99. doi:10.1089/3dp.2020.0101.
- [17] H. Kursat Celik, O. Kose, M.E. Ulmeanu, A.E.W. Rennie, T.N. Abram, I. Akinci, Design and additive manufacturing of medical face shield for healthcare workers battling coronavirus (COVID-19), *Int. J. Bioprinting.* 6 (2020) 1–21. doi:10.18063/IJB.V6I4.286.
- [18] C. Lima, *Polímeros e Materiais Poliméricos - Manual para o professor*, 1999. <http://educa.fc.up.pt/>.
- [19] R.A. Malloy, R.A. Malloy, *Plastic Part Design for Injection Molding*, 2010. doi:10.3139/9783446433748.fm.
- [20] A. Cunha, *Manual do projetista para moldes de injeção de plástico*, 2003.
- [21] *Moldes*, (2020). formacao.training.pt.
- [22] NEGRI-BOSSI MULTI-COMPONENT MOLDING TECHNOLOGY, (2020). <https://www.negribossi.com/en-us/technologies/multi-component-us/>.
- [23] TerpConnect, Multi-shot molding, (2020). <https://terpconnect.umd.edu/~skgupta/M3T/MSM.html>.
- [24] G. Mennig, K. Stoeckhert, G. Mennig, K. Stoeckhert, *Mold-Making Handbook*, 2013.
- [25] EUA, DoD Integrated Product and Process Development Handbook, (1998) 92. <https://acc.dau.mil/CommunityBrowser.aspx?id=24459>.
- [26] G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen, K.H. Grote, *Engineering design*, 2006. doi:10.4324/9780203967461.
- [27] WHO | Personal protective equipment for COVID-19, World Health Organization, 2020. http://www.who.int/medical_devices/priority/COVID_19_PPE/en/ (accessed October 16, 2020).
- [28] Manufacturers | Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, (n.d.). https://ec.europa.eu/growth/single-market/ce-marking/manufacturers_en (accessed October 16, 2020).
- [29] P. Europeu, (Texto relevante para efeitos do EEE) 21.12.2018, 2018 (2018) 210–230.
- [30] EUROPA - European Commission - Growth - Regulatory policy - NANDO, (n.d.). <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/nando/> (accessed October 16, 2020).
- [31] Parlamento Europeu, REGULAMENTO (UE) 2016/ 425 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO - de 9 de março de 2016 - relativo aos equipamentos de proteção individual e que revoga a Diretiva 89/ 686/ CEE do Conselho, (2016) 51–98. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0425&from=EN>.
- [32] I.O. for Standardization, EN166:2001 - Personal Eye Protection (Specifications), 2001.

- [33] DGS, Dispositivos Médicos e Equipamentos de Proteção Individual, (2020). <https://covid19.min-saude.pt/dispositivos-medicos-e-equipamentos-de-protecao-individual/>.
- [34] B.S. En, Non-optical test methods, (2002).
- [35] e p u b l i c o f e r b i a, 167 (2008).
- [36] Omnexus, (n.d.). <https://omnexus.specialchem.com/>.

Anexo 1 - Componentes de um molde [21]

Nº	Peça	Nº	Peça
0	Barra de transporte	48-1	Bloco de travamento prismático
1	Chapa de aperto da injeção	48-2	Bloco de travamento lateral
1-1	Placa isoladora	49	Bloco de travamento cilíndrico
2	Chapa das cavidades	49-1	Bloco de travamento prismático
3	Chapa das buchas	49-2	Bloco de travamento lateral
4	Chapa de reforço das buchas	50	Barras de fecho
5 e 6	Calços	56	Barra de ajuste do elemento móvel
7	Chapa dos extratores	57	Barra de ajuste do balancé
8	Chapa de aperto dos extratores	61	Barra de deslize
9	Chapa de aperto da extração	66	Barra limite
9-1	Placa isoladora	70	Distribuidores
10	Chapa móvel da injeção	75	Hastes extratoras
12	Suportes	76	Pernos de prisão
16	Guias principais	79	Casquilhos de pernos
20	Guia inclinada	90	Barras separadoras das cavidades
23	Guias das chapas extratoras	91	Barras separadoras das buchas
25	Casquilhos de guias	100	Cavidades ou fêmeas
29	Casquilhos das guias das chapas extratoras	200	Bucha ou macho
30	Pernos de retorno	201	Buchas retráteis
32	Anel de centragem (injeção)	320	Extratores balancés
32-1	Anel de centragem (extração)	330 a 339	Bocal especial/rápido/mangueira
33	Injetor principal	BE	Botões de encosto
34	Anel de ajuste do injetor		Olhal
35	Bicos de injeção		Cavilhas
41	Parafusos limitadores de curso		Rolamentos
48	Bloco de travamento cilíndrico		Pernos limitadores de esfera
	Placas multiligações		O'rings
	Tubos extensores		Tampões
	Cilindros (atuadores) hidráulicos e pneumáticos		Tacos
	Aros extratores		Hastes de transferência de temperatura
	Extratores normais		Núcleo em espiral
	Freios		Tubos
	Parafuso de cabeça cilíndrica		Lâminas
	Parafuso de cabeça cônica		Adaptadores
	Pernos roscados		Molas ou amortecedores a gás
	Molas de compressão		Anilhas

Anexo 2 - Declaração UE de conformidade [31]

EN

EU DECLARATION OF CONFORMITY

1. No ... (unique identification of the product)
2. Name and address of the manufacturer or his authorised representative:
3. This declaration of conformity is issued under the sole responsibility of the manufacturer (or installer):
4. Object of the declaration (identification of product allowing traceability. It may include a colour image of sufficient clarity to enable the identification of the product, where appropriate.)
5. The object of the declaration described in point 4 is in conformity with the relevant Union harmonisation legislation:
6. References to the relevant harmonised standards used, or references to the specifications in relation to which conformity is declared:
7. Where applicable: the notified body ... (name, number)... performed ... (description of intervention)... and issued the certificate:
8. Additional information:

Signed for and on behalf of:

(place and date of issue)

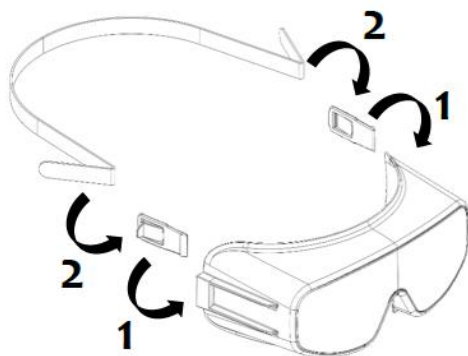
(name, function)(signature)

Anexo 3 - Manual de instruções



MANUAL DE INSTRUÇÕES/INSTRUCTION MANUAL

GOGGLES PCS21



DESINFETAR ANTES DA PRIMEIRA UTILIZAÇÃO/ DISINFECT BEFORE FIRST USE



MADE IN PORTUGAL

PORTUGUÊS

CONTEÚDO

Óculos, fita elástica, 2 fivelas de encaixe e manual de instruções.

NORMA EN166

MATERIAIS

Lente: Policarbonato (PC)

Armação: Termoplástico de poliuretano (TPU)

Fivelas: Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)

Fita elástica: Termoplástico de poliuretano (TPU)

LIMITAÇÕES

Os GOGGLES PCS21 podem transmitir impactos, não garantindo proteção ilimitada.

Apenas um uso correto garante proteção e conforto.

Em caso de reação alérgica com a pele, abandonar imediatamente o local de perigo, retirar os GOGGLES PCS21 e procurar aconselhamento médico.

CARACTERÍSTICAS E DESEMPENHO

As lentes em policarbonato garantem proteção contra projeção de gotículas.

A fita elástica permite o ajuste.

Lentes transparentes de excelente qualidade ótica.

Compatível com o uso de óculos graduados.

ARMAZENAMENTO

Os GOGGLES PCS21 devem ser armazenados num local sem exposição solar, sem contacto com químicos e não devem ser expostos a temperaturas extremas.

USO

Desinfetar antes da primeira utilização.

Ajustar corretamente a fita elástica antes de utilizar.

Seguir as instruções de montagem.

LIMPEZA E MANUTENÇÃO

Os GOGGLES PCS21 podem ser limpos com sabonete, água e álcool e limpo com um pano.

Não limpar com químicos ou produtos de limpeza.

Inspeccionar frequentemente e substituir imediatamente componentes danificados (fivela ou fita elástica).

Caso a lente se encontre riscada ou danificada é recomendada a substituição do equipamento.

ENGLISH

CONTENT

Goggles, elastic band, 2 snap-fit buckles and instruction manual.

EN 166 STANDARD

MATERIALS

Lenses: Polycarbonate (PC)

Frame: Thermoplastic polyurethane (TPU)

Buckle: Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)

Elastic band: Thermoplastic polyurethane (TPU)

LIMITATIONS OF USE

GOGGLES PCS21 do not offer unlimited particle protection: they can transmit impacts.

Protection will only be offered if the goggles are fitted correctly.

If the lenses are scratched or damaged, you should replace the equipment.

In case of allergic skin reaction, leave the hazard, remove the GOGGLES PCS21 and seek medical advice.

FEATURES AND PERFORMANCE

Polycarbonate lenses offer protection against liquid droplets.

Elastic band has multiple adjustment positions.

Transparent lenses with excellent optical quality.

Compatible with corrective glasses.

STORAGE

GOGGLES PCS21 should be stored out of direct sunlight, away from chemicals and not exposed to high temperatures.

USE

Disinfect before first use.

Fit the elastic band correctly before use.

Follow assembly instructions.

CLEANING AND MAINTENANCE

GOGGLES PCS21 can be cleaned with soap, water and ethyl alcohol and dried with a cloth.

Do not clean with chemicals or abrasive cleaning products.

Inspect frequently and replace worn or damaged components (snap-fit buckle or elastic band).

If the lenses are scratched or damaged, the equipment should be replaced.

MARCAÇÃO/MARKING

PCS – Fabricante/Manufacturer

1 – Classe ótica/optical class

F – Impactos de baixa energia/low energy impacts

166 – Norma/Standard



RUA NOVA DO MOINHO DE CIMA, 12
ALBERGARIA
2430-076 MARINHA GRANDE

PORTUGAL
+351 244 575 050

Part Design Checklist

for injection molded engineering thermoplastics

Material Selection Requirements

<input type="checkbox"/> LOADS	___ Magnitude	___ Duration	___ Impact	___ Fatigue	___ Wear
<input type="checkbox"/> ENVIRONMENT	___ Temperature	___ Chemicals	___ Humidity	___ Cleaning agents	
<input type="checkbox"/> SPECIAL	___ Lubricants	___ U.V. light	___ Paintability	___ Warpage/Shrinkage	
	___ Transparency	___ Flammability	___ Cost	___ Agency test	

Part Details Review

<input type="checkbox"/> RADII	___ Sharp corners	___ Ribs	___ Bosses	___ Lettering
<input type="checkbox"/> WALL THICKNESS	___ Strength	___ Electrical	___ Flammability	
• Flow	___ Flow length	___ Too thin	___ Thin to thick	
• Uniformity	___ Picture framing	___ Orientation	___ Abrupt changes	
<input type="checkbox"/> RIBS	___ Thick areas	___ Thin areas	___ Height	___ Spacing
	___ Radii	___ Draft		
<input type="checkbox"/> BOSSES	___ Base thickness	___ Draft	___ Inside diameter/outside diameter	
<input type="checkbox"/> WELD LINES	___ Base thickness	___ Length/diameter		
<input type="checkbox"/> DRAFT	___ Proximity to load	___ Strength vs. load	___ Visual area	
<input type="checkbox"/> TOLERANCE	___ Draw polish	___ Texture depth	___ 1/2 degree (minimum)	
	___ Part geometry	___ Material		
	___ Tool design (across parting line, slides)			

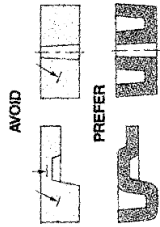
Assembly Considerations

<input type="checkbox"/> PRESS FIT	___ Tolerances	___ Long-term retention	___ Hoop stress
<input type="checkbox"/> SNAP FIT	___ Allowable strain	___ Assembly force	
<input type="checkbox"/> SCREWS	___ Tapered beam	___ Multiple assembly	
<input type="checkbox"/> MOLDED THREAD	___ Thread-cutting vs. forming	___ Avoid countersinks	
<input type="checkbox"/> ULTRASONICS	___ Avoid feather-edges, sharp corners and pipe threads	___ Shear joint interference	
<input type="checkbox"/> ADHESIVE & SOLVENT BONDS	___ Energy director	___ Hermetic seal	
<input type="checkbox"/> GENERAL	___ Wall thickness	___ Compatibility	
	___ Shear vs. butt joint		
	___ Trapped vapors	___ Thermal expansion	
	___ Interfit tolerances	___ Stack tolerances	___ Component compatibility
	___ Care with rivets and molded-in inserts		

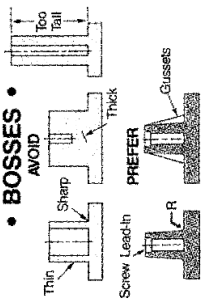
Mold Concerns

<input type="checkbox"/> WARPAGE	___ Cooling (corners)	___ Ejector placement	
<input type="checkbox"/> GATES	___ Type	___ Size	___ Location
<input type="checkbox"/> RUNNERS	___ Sprue and shape	___ Sprue size	___ Balanced flow
<input type="checkbox"/> GENERAL	___ Cold slug well	___ Sharp corners	
	___ Draft	___ Part ejection	___ Avoid thin/long cores

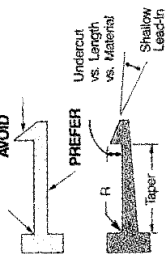
• WALL UNIFORMITY •



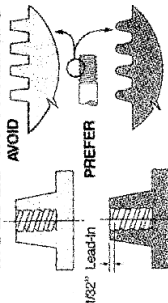
• BOSSES •



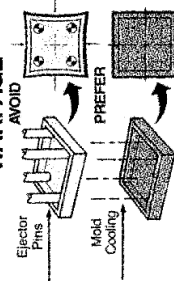
• SNAP-FIT •



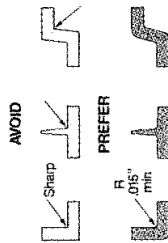
• MOLDED-IN THREADS •



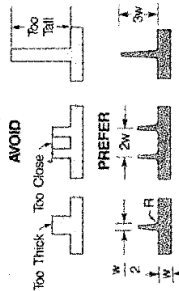
• WARPAGE •



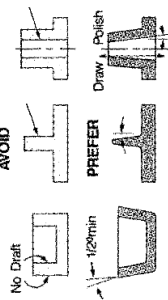
• RADII •



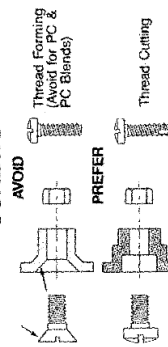
• RIBS •



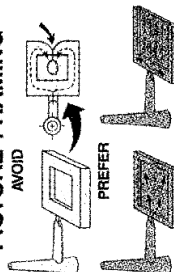
• DRAFT •



• SCREWS •

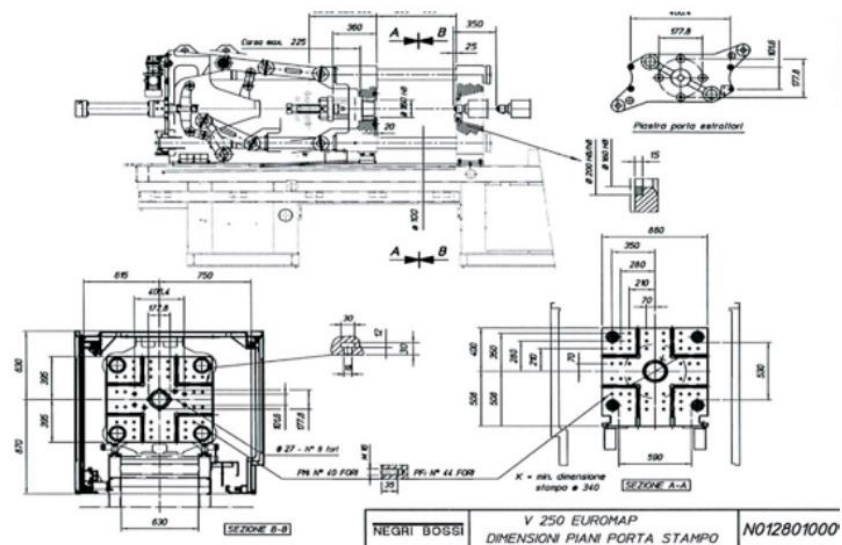


• PICTURE FRAMING •



Anexo 5 - Características do equipamento de injeção

		INJECTOR #1	INJECTOR #2
Diâmetro fuso / Screw diameter	mm	50	35
Relação LD / Screw LtoD ratio	L/D	23	20
Volume injeção / Injection volume	Cc	660	120
Capacidade de injeção (PS) / Injection capacity	gr	600	109
Velocidade injeção / Injection rate	cc/s	180	87
Pressão máxima sobre o material / Max. pressure on material	bar	2440	1700
Pressão máxima bomba hidráulica / Hydraulic pump max. pressure	bar	150	150
Rotação máxima do fuso / Max. screw rotating speed	rpm	250	320
Força de fecho / Clamping force	kn	2500	
Curso de abertura / Opening stroke	mm	550	
Espessura máxima do molde / Max. mould thickness	mm	750	
Espessura mínima do molde / Minimum mould thickness	mm	300	
Dimensões do prato / Plate dimensions H X V	mm	860 x 790	
Espaço entre colunas / Space between tie bars H X V	mm	590 x 530	
Conexões pneumáticas / Pneumatic connections	nº	8	
Conexões hidráulicas / Hydraulic connections	nº	6	



Anexo 6 - Relatório do teste 1



RESUMO DO TESTE T1 realizado a 31/08/2020

Molde: 20017 – Óculos – Goggles MC19			Cliente: Moldes Catarino		Cavidades: 1	
T	Nº	Descrição	Secções	Imagem	Comentário p/resolução	Realizado por Rubrica:
1	1	Meter ar na cavidade onde molda o TPU				/ /
1	2	Acertar zonas junto ao nariz				/ /
1	3	Rever prisão da cavidade do lado do PC				/ /
1	4	Abrir as fugas				/ /
1	5	Dar mais saída nos ribs e fazer ralos				/ /
1	6	Aumentar espessura do TPU na parte frontal da ligação com o PC			Não executar	/ /
1	7	Soldar as prisões nas buchas do PC				/ /
1	8	Fazer gravação nas buchas para identificar a peça, junto ao extrator				/ /
1	9	Melhorar entrada de ar no postigo das buchas				/ /
1	10	Rever injeção do TPU				/ /

Anexo 7 - Relatório do teste 2



RESUMO DO TESTE
T2 realizado a 16/09/2020

Molde: 20017 – Óculos – Goggles MC19			Cliente: Moldes Catarino		Cavidades: 1	
T	Nº	Descrição	Seções	Imagem	Comentário p/resolução	Realizado por
2	1	Meter ar na cavidade onde molda o TPU				Rubrica: / /
2	2	Tirar rebarba ao furo do ar				Rubrica: / /
2	3	Dar espessura ao postigo para aumentar a espessura da sobreposição da borracha				Rubrica: / /
2	4	Reduzir a negativa da lente				Rubrica: / /
2	5	Montar fichas para o carburador				Rubrica: / /
2	6	Confirmar guias ao fechar molde				Rubrica: / /